

Suarez, Mario Adolfo

Avances en la introducción de cubiertas naturadas sustentables para zonas urbanas y periurbanas de la ciudad de Córdoba: selección de materiales de Glandularia spp.

**Tesis para la obtención del título de posgrado de
Doctor en Ciencias Agropecuarias**

Directora: Imhof, Lelia

Documento disponible para su consulta y descarga en Biblioteca Digital - Producción Académica, repositorio institucional de la Universidad Católica de Córdoba, gestionado por el Sistema de Bibliotecas de la UCC.



Esta obra está bajo licencia 2.5 de Creative Commons Argentina.
Atribución-No comercial-Sin obras derivadas 2.5

AVANCES EN LA INTRODUCCIÓN DE CUBIERTAS NATURADAS SUSTENTABLES PARA ZONAS URBANAS Y PERIURBANAS DE LA CIUDAD DE CÓRDOBA: SELECCIÓN DE MATERIALES DE *Glandularia spp.*

RESUMEN

El proceso de crecimiento de los centros urbanos, como ámbitos en los que se desarrolla la vida de las personas, ocurre tanto en extensión como en densidad. La falta de planificación de este proceso lleva a la disminución de la calidad ambiental de las ciudades y de la calidad de vida de sus habitantes. Esto implica un mayor gasto energético para mantener una situación habitable en las concentraciones urbanas (calefacción, aire acondicionado, bombas de desagote de pluviales, entre otros), como la ciudad de Córdoba. Los techos verdes son una herramienta para mitigar esta pérdida de calidad ambiental, sumando beneficios como la regulación térmica, mitigación de la escorrentía pluvial, aumento de la biodiversidad, valorización de los edificios, incremento de visitantes florales, mejora de la calidad del aire, entre otros. Se realizó un diagnóstico para evaluar el grado de incorporación de esta tecnología a la ciudad de Córdoba, el cual permitió observar que posee solo la mitad de superficie de techos verdes por kilómetro cuadrado de ejido municipal en relación a otras ciudades capitales como México DF con serios problemas de densificación y pérdida de calidad ambiental. A pesar de ello, el 86% de la superficie de techos verdes están en la zona de mayor efecto de isla de calor urbana (ICU). Otra particularidad local fue que un gran porcentaje de las azoteas vegetadas son zonas de esparcimiento y disfrute de los usuarios, por lo que se infiere que este tipo de cubiertas puede ser una “trampa” contra la sustentabilidad urbana, debido al alto mantenimiento que necesitan. Predominan las cubiertas verdes mono-específicas tipo “césped” y, en ningún caso, fueron incluidas especies nativas en sus diseños. A partir de allí se realizó un análisis de factores que inciden directamente en la sostenibilidad de los techos verdes en las zonas semiáridas. El diagnóstico de situación de los techos verdes en la ciudad de Córdoba y el discernimiento de los factores de sostenibilidad permitieron establecer los principales lineamientos o criterios de sustentabilidad para la construcción e integración de los techos verdes en el espacio urbano de la ciudad de Córdoba. Estos lineamientos pudieron integrarse en una propuesta constructiva concreta. Al mismo tiempo, se lograron evaluar dieciséis híbridos del género *Glandularia* obtenidos del programa de mejoramiento de la Universidad Católica de Córdoba, como forma de aportar materiales selectos a estos espacios urbanos. Se consiguió seleccionar los mejores tres materiales luego de tres ciclos de selección en módulos que simulaban condiciones de techos verdes semi-extensivos. Los mismos ofrecieron la mejor cobertura, tanto al inicio de la plantación como a lo largo del tiempo de cultivo bajo ambientes limitantes y con una condición

sanitaria óptima. Se adoptó una herramienta para facilitar el análisis, el índice de aptitud para techos verdes (IATV), que permitió integrar las variables elegidas para evaluar el desempeño, ordenar los materiales y permitir una rápida selección.

Palabras claves: *Glandularia*, techos verdes, diagnóstico, lineamientos, semiárido, sustentabilidad.

ADVANCES IN THE INTRODUCTION OF SUSTAINABLE NATURAL ROOFS FOR URBAN AND PERI-URBAN AREAS OF THE CORDOBA CITY: SELECTION OF *Glandularia* spp. MATERIALS.

ABSTRACT

The process of growth of urban centers, as areas in which life of people develops, occurs in both extension and density. The lack of planning of this process leads to a decrease in environmental quality of cities and life of their inhabitants. This implies a higher energy expenditure to maintain a habitable situation in urban concentrations (heating, air conditioning, storm drain pumps, among others), such as one of which is the city of Córdoba. The green roofs are a tool to mitigate this loss of environmental quality, adding benefits such as thermal regulation, mitigation of storm runoff, increase of biodiversity, valorization of buildings, increase of floral visitors, air quality improvement, among others. A diagnosis was made to evaluate the degree of incorporation of this technology to the city of Córdoba, which allowed to observe that it has only half the surface of green roofs per square kilometer in relation to other capital cities such as Mexico City with serious problems of densification and loss of environmental quality. Despite this, 86% of the surface of green roofs are in the area of greatest effect of urban heat island (UHI). Another local feature was that high percentage of vegetated roofs are areas for recreation and enjoyment of users, so it is inferred that this type of roofs can be a "trap" against urban sustainability, due to the high maintenance they needed. Mono-specific green "grass" type roofs predominated and were not included native species in their designs. The diagnosis of the situation of the green roofs in the city of Córdoba and the discernment of the sustainability factors allowed establish the main sustainability guidelines or criteria for the construction and integration of the green roofs in the urban space of the city of Córdoba. Finally, these guidelines could be integrated into a concrete construction proposal. At the same time, sixteen hybrids of the genus *Glandularia* obtained from the improvement program of the Catholic University of Córdoba were achieved, as a way to provide selected materials to these urban spaces. The best three materials were selected after three cycles in modules that simulated semi-extensive green roof conditions. They offered the best coverage, both at the beginning of the plantation and throughout the cultivation time under limiting environmental conditions and with an optimal sanitary condition. A tool was adopted to facilitate the analysis, the green roof fitness index (GRFI), which allowed the integration of the variables chosen to evaluate performance, order materials and allow rapid selection. An analysis of factors that affect the sustainability of green roofs in semi-arid areas was achieved.

Keywords: *Glandularia*, green roof, diagnosis, guidelines, semi-arid, sustainability.

**AVANCES EN LA INTRODUCCIÓN DE CUBIERTAS NATURADAS
SUSTENTABLES PARA ZONAS URBANAS Y PERIURBANAS DE LA CIUDAD DE
CÓRDOBA: SELECCIÓN DE MATERIALES DE *Glandularia* spp.**

2020

Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias Agropecuarias

Directora de Tesis: Dra. Lelia Imhof

Co Director de Tesis: Mgter. Arq. Lucas Ruarte.



Miembros del Comité de Tesis:

Dra. Liliana Di Feo

Dra. Silvina Soto

Dr. Juan Zabala

PUBLICACIONES ASOCIADAS A ESTA TESIS

En revistas con referato

SUÁREZ, M., GALETTO, L., CÁCERES, N., HICK, E., MATOFF, E., y IMHOF, L. Performance of Native Plant Genotypes (*Glandularia*-*Verbenaceae*) on Semi-Intensive Green Roofs With Low Maintenance Requirements. *Cities and the Environment (CATE)*:2019, vol. 12: Iss. 2, Article 3. <https://digitalcommons.lmu.edu/cate/vol12/iss2/3>

En libros

SUAREZ M., CACERES N., IMHOF L., HICK E., FENOGLIO M.S., IVANCOVICH G., ROMERO S., CORTADI M., WULFF E. Relevamiento de techos verdes de la ciudad de Córdoba. Primer diagnóstico 2016. *EDUCC- Editorial de la Universidad Católica de Córdoba*, 2016.20p. ISBN 978-987-626-332-0

En congresos internacionales:

SUAREZ M., CACERES N., HICK E., MATOFF, E., GALETTO, L, IMHOF L. Evaluación de híbridos de *Glandularia* (*Verbenaceae*) para sistemas extensivos de techos verdes de bajo mantenimiento. V Congreso Nacional de Flora Nativa, 2017. Campus Andrés Bello – Universidad de La Serena. Chile.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a quienes me acompañaron de manera incondicional a lo largo de esta tesis. A mi directora, la Dra. Lelia Imhof, quien me alentó a llevar adelante este proyecto y vio en mí la capacidad de hacerlo, agradezco su acompañamiento constante, sus palabras, su guía y su presencia constante cada vez que lo necesite. Este trabajo no hubiera sido posible sin ella.

Agradezco a la Universidad Católica de Córdoba, en especial a la Secretaría de Investigación, Posgrado y Vinculación tecnológica, y en particular a la Carrera de Doctorado de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, que me alentaron y ayudaron a la concreción de la tesis, no solo desde el aspecto económico, sino en cada una de los momentos en que los necesité. Agradezco al Consejo Académico de la Carrera de Doctorado, por haber tenido la voluntad de evaluar mi caso particular cada vez que fue necesario. A la Dra Edith Taleisnik, directora del Doctorado, por su contacto directo con los doctorandos y la predisposición constante a ayudar a quienes, como en mi caso, necesitaron de su apoyo y consejo. Agradezco a la Dra Giorgina Diaz Napal, Secretaría de Investigación, Posgrado y Vinculación tecnológica de la facultad de ciencias agropecuarias, por su seguimiento y labor constante para la concreción de cada proyecto.

Agradezco a mis evaluadoras, la Dra Liliana Di Feo y la Dra Silvina Soto, por todo el tiempo dedicado en estos últimos años a seguir de cerca los avances de mi trabajo, por la lectura y corrección del mismo. Agradezco su excelente predisposición a cualquier consulta, todo este tiempo. y al Dr. Juan Zabala, por aceptar la evaluación de mi trabajo, por sus sugerencias e indicaciones precisas para lograr un mejor producto académico.

Agradezco a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Católica de Córdoba, por brindarme el espacio y las instalaciones necesarias para poder llevar adelante los ensayos necesario para esta tesis de Doctorado, en el campo experimental del Campus.

Agradezco enormemente mis compañeros de equipo: el Ing. Emmanuel Hick y la Lic. Natalia Caceres, incansables trabajadores de la investigación y conocimiento, este trabajo es también su trabajo y quiero compartirlo con ellos. Ejemplos de compañeros de equipos generosos e interesados en el crecimiento grupal. Incansables en todos los caminos que hemos emprendido.

Agradezco al Dr. Leonardo Galetto, por su acompañamiento y su confianza, por abrir las puertas de su laboratorio en forma desinteresada, ha sido un apoyo fundamental en los últimos tiempos de elaboración de la presente Tesis.

A mi compañera, Griselda Castro, por el aguante y la motivación constante, por su trabajo impecable para que este documento llegue a término.

Y a mi familia, a mis hijos Manuel, Genaro y Facundo, que siempre me apoyaron en cada nuevo desafío. A mis padres, Nolo y Ester, que me enseñaron el poder del conocimiento como herramienta de vida y a mis hermanos que nunca dejaron de alentarme en el crecimiento personal y académico.

Gracias a todos y cada uno de ustedes.

ABREVIATURAS UTILIZADAS EN ESTA TESIS

Ca: área de cobertura

cm: centímetros

CMMA: Comisión Mundial para el Medio Ambiente

dS: deciSiemens

DUIS: desarrollo urbano integral sustentable

Es: estado sanitario

FLL: German Landscape Research, Development and Construction Society

IATV: índice de aptitud del techo verde

ICU: isla de calor urbana

IMBIV: Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal

IRNASUS: Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales y Sustentabilidad

LST: temperatura superficial de la tierra

m: metros

m²/hab.: metros cuadrados por habitante

MAE: Millennium Ecosystem Assessment

n: número, cantidad

NDVI: índice normalizado de vegetación

°C: grados centígrados

ONU: Organización de las Naciones Unidas ()

pH: potencial hidrógeno

S: supervivencia

TVV: techos verdes vegetados

UCC: Universidad Católica de Córdoba

WCS: Wildlife Conservation Society

<: menor a o menos que

ÍNDICE

Resumen	i
Abstract	iii
Publicaciones asociadas a esta Tesis	vi
Agradecimientos	vii
Abreviaturas utilizadas en esta Tesis	viii
Introducción General	xiii
Hipótesis	xxv
CAPÍTULO I. Relevamiento de los techos verdes existentes en la ciudad de Córdoba,	
Argentina	1
I.1. Introducción	2
I.2. Materiales y Métodos	3
I.2.1. Primera etapa: Localización de techos verdes existentes	4
I.2.2. Segunda etapa: Relevamiento técnico de techos verdes	5
I.2.3. Tercera etapa: Orden y sistematización de la información	6
I.2.4. Cuarta etapa: Elaboración del diagnóstico situacional	6
I.3. Resultados y Discusión	7
I.3.1. Dispersión espacial de los techos verdes relevados	7
I.3.2. Tamaño de la superficie cubierta por el sistema vivo	8
I.3.3. Clasificación de acuerdo a la cantidad de insumos que el sistema necesitó para permanecer vivo en el tiempo	9
I.3.4. Tipo de cobertura vegetal	11
I.4. Conclusiones	14
CAPÍTULO II. Lineamientos de sustentabilidad para la incorporación de techos verdes en	
zonas urbanas semiaridas	15
II.1. Introducción	16
II.2. Materiales y Métodos	21
II.3. Resultados y Discusión	23
II.3.1. Factor interacción	23
II.3.2. Factor biodiversidad	25
II.3.3. Factor diseño	28
II.3.4. Factor Origen	29
II.3.5. Factor Apropiación	30
II.3.6. Lineamientos de sustentabilidad para techos verdes en zonas semiáridas	32

II.3.7. Propuesta	33
II.4. Conclusión	36
CAPÍTULO III. Caracterización y selección de híbridos de germoplasma nativo por su aptitud para ser introducidos en techos verde: el caso de <i>Glandularia</i>	38
III.1. Introducción	39
III.2. Objetivos	41
III.3. Materiales y Métodos	41
III.3.1. Primer ciclo de selección	44
III.3.2. Segundo ciclo de selección	44
III.3.3. Tercer ciclo de selección	44
III.3.4. Variables de evaluación	45
III.4. Resultados	49
III.4.1. Primer Ciclo de Selección	49
III.4.1.1. Supervivencia y Estado sanitario	49
III.4.1.2. Cobertura	51
III.4.1.3. Dinámica de la cobertura	53
III.4.1.4. Índice de aptitud para techos verdes (IATV)	57
III.4.2. Segundo Ciclo de Selección	59
III.4.2.1. Supervivencia y Estado sanitario	59
III.4.2.2. Cobertura	60
III.4.2.3. Dinámica de la cobertura	61
III.4.2.4. Índice de aptitud para techos verdes (IATV)	61
III.4.3. Tercer Ciclo de Selección	62
III.4.3.1. Supervivencia y Estado sanitario	62
III.4.3.2. Cobertura	63
III.4.3.3. Dinámica de la cobertura	64
III.4.3.4. Índice de aptitud para techos verdes (IATV)	65
III.5. Discusión	66
III.6. Conclusiones	67
IV. Conclusiones más Relevantes del Trabajo	68
V. Bibliografía	70
V.1. Introducción	70
V.2. Capítulo 1	77
V.3. Capítulo 2	80
V.4. Capítulo 3	85

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Clasificación de tipos de techos verdes	xx
TABLA 2. Cuadro de síntesis de los cinco factores intervinientes en la sustentabilidad de los techos verdes locales	22
TABLA 3. Códigos de los híbridos de <i>Glandularia</i> y sus parentales	43
TABLA 4. Valores medios de supervivencia (S) y estado sanitario (Es) de cada material vegetal para los dos períodos de crecimiento (otoño-invierno y primavera-verano).	50
TABLA 5. Valores de Cobertura mínima y máxima de los genotipos estudiados expresados en porcentaje.	52
TABLA 6. Diferentes grupos de materiales híbridos de <i>Glandularia</i>	53
TABLA 7: Valores promedio del índice de aptitud del techo verde	58
TABLA 8. Valor promedio de supervivencia (S) y estado sanitario (Es) de los materiales del segundo ciclo de selección	59
TABLA 9. Porcentajes de cobertura para segundo ciclo de selección	60
TABLA 10. Valores promedio del índice de aptitud del techo verde (IATV)	62
TABLA 11. Valor promedio de supervivencia (S) y estado sanitario (Es) de los materiales del segundo ciclo de selección.	63
TABLA 12. Porcentajes de cobertura para tercer ciclo de selección	63
TABLA 13. Valores promedio del índice de aptitud del techo verde (IATV)	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen espacial de la abundancia de vegetación según NDVI	xiv
Figura 2. Zonificación de la temperatura superficial en el ejido de la municipalidad de Córdoba (Del Gesso y Romero, 2018).	xv
Figura 3. a) Imagen compuesta de Abundancia de vegetación medida en índice de vegetación normalizado (NDVI) y Temperatura media Superficial; b) Correlación entre el NDVI y la Temperatura media Superficial para la ciudad de Córdoba (Del Gesso y Romero, 2018).	xvi
Figura 4. Mapa del nivel de riesgo de inundación de la ciudad de Córdoba	xvii
Figura 5. Esquema del modelo de ecosistema: explica las entradas y salidas del sistema impulsadas por el flujo de energía (según Odum, 1971).	xviii
Figura 6. Sección transversal típica del techo verde con sus múltiples capas (según Sutton, 2015).	xix
Figura 7. Componentes bióticos y abióticos del sistema techo verde (adaptado de Vijayaraghavana, 2018).	xix

Figura 8. Ubicación espacial de los techos verdes relevados en la ciudad de Córdoba. Los sitios señalados con puntos negros indican más de un techo verde en el lugar (2016).	7
Figura 9. Mapa termográfico de la ciudad de Córdoba. Ubicación de la Isla de calor Urbana (ICU). Fuente: Suárez (1991).	8
Figura 10. Distribución de porcentajes en los rangos de superficies cubiertas (en m ²) de techos verdes en la ciudad de Córdoba.	9
Figura 11. Distribución de porcentajes de techos verdes según la cantidad de insumos requeridos: bajo mantenimiento y alto mantenimiento.	10
Figura 12. Distribución de porcentajes de las distintas coberturas vegetales en techos verdes de ciudad de Córdoba: base de césped; mezcla de especies.	12
Figura 13. Distribución de porcentajes de techos verdes: techos transitables y no transitables	12
Figura 14. Distribución de porcentajes de la tipología de edificios con cubierta verde en la ciudad de Córdoba: edificios habitables, edificios no habitables.	13
Figura 15. Esquema del desarrollo urbano integral sustentable (DUIS) (Barrera Alarcón, 2014).	18
Figura 16. Esquema de la evolución hacia un nuevo paradigma, donde la ciudad y su entorno pasan de ser elementos contrapuestos a formar una sinergia positiva.	20
Figura 17. Esquema de la metodología de desarrollo de los Lineamientos de sustentabilidad para las cubiertas verdes en la ciudad de Córdoba.	21
Figura 18. Esquema del sistema modular propuesto.	33
Figura 19. Detalle constructivo módulos de ensayo: a) vista desde arriba con mediciones; b) vista en corte transversal (dimensiones y partes).	42
Figura 20. Imagen de los materiales evaluados que representan cada uno de los estados sanitarios en el rango de 1 a 5.	46
Figura 21. Dinámica del área de cobertura (%) de materiales híbridos de <i>Glandularia</i> en proceso de mejora probado durante la temporada otoño-invierno.	54
Figura 22. Dinámica del área de cobertura (%) de materiales híbridos de <i>Glandularia</i> en proceso de mejora probado durante la temporada primavera-verano.	56
Figura 23: Dinámica del área de cobertura (Ca, %) de los materiales selectos de <i>Glandularia</i> en el segundo ciclo de selección.	61
Figura 24. Dinámica del área de cobertura expresada en porcentajes, de materiales híbridos de <i>Glandularia</i> en proceso tercer ciclo de selección.	64

INTRODUCCIÓN GENERAL

La población urbana a nivel mundial ha llegado a representar el 54% de la población total, y se estima que para el año 2050 este porcentaje alcanzará el 66%. En Argentina, la población urbana representa el 91% de la población total, según datos publicados por el Banco Mundial en 2010. Estas cifras ponen de manifiesto la envergadura que toman y tomarán aún más, los centros urbanos como ámbitos en el que se desarrolla la vida de las personas (Informe Córdoba Ciudad Argentina, ONU nodo Córdoba, 2014). Este proceso de urbanización ocurre tanto en extensión como en densidad (Grimm et al., 2008; Seto, Fragkias, Güneralp y Reilly, 2011; Naciones Unidas y Asuntos Económicos y Sociales, 2016). La densificación urbana no planificada lleva a una inevitable disminución de la calidad ambiental de las ciudades. El avance en el desarrollo urbano, debido al aumento poblacional, trae como consecuencia una disminución de los espacios verdes, tan necesarios para la habitabilidad de las mismas, generando un incremento exponencial de las superficies impermeables y construcciones edilicias (Pinguelli Rosa et al., 2002; Zielinski et al., 2012; Odli et al., 2016). Esta pérdida de los espacios verdes en las urbanizaciones es importante y constante. La superficie impermeabilizada aumenta y con ella los problemas derivados de la pérdida de calidad ambiental. El aumento de las superficies impermeables, a través de la construcción de edificios, calles, veredas y estacionamientos produce fragmentación del hábitat (Aronson et al., 2014), altera los ciclos biogeoquímicos del sistema (McDonnell et al., 1997), redistribuye el agua (Grimm et al., 2008), aumenta los niveles de contaminación atmosférica (Zielinski et al., 2012), hay mayor consumo energético (Ehrlich y Holdren, 1971) e hídrico (Vorosmarty et al., 2000), pérdida de biodiversidad (McKinney, 2008) e incrementos de fenómenos térmicos como la isla de calor urbana (ICU) (Razzaghmanesh et al., 2016).

Los edificios cambian el flujo de energía y materia a través de los ecosistemas urbanos causando, a menudo, problemas ambientales y pérdida de la calidad de vida de sus habitantes. La merma de calidad ambiental lleva a un mayor gasto energético para mantener una situación habitable en las concentraciones urbanas (calefacción, aire acondicionado, bombas de desagote de pluviales, entre otros). El calor urbano es un problema relacionado con la demanda de energía, la incomodidad humana, la mala calidad del aire y sus enfermedades relacionadas. La temperatura en el área de las ciudades es más alta en comparación con las áreas suburbanas y rurales y, a su vez, dentro de la ciudad hay sectores donde este fenómeno se intensifica: son las llamadas islas de calor urbano (ICU) (Odli et al. 2016).

Una alternativa para restablecer el equilibrio en los ecosistemas urbanos y así mitigar los fenómenos desfavorables como los mencionados anteriormente, es la incorporación de

construcciones ecológicas como las cubiertas naturadas (Chiarella, 2012; Getter & Rowe, 2006; Minke, 2004; Lundholm et al., 2010; Razzaghmanesh et al., 2015)

En el caso de la ciudad de Córdoba, con una población de 1 330 023 habitantes, indicada en el Censo 2010, la superficie total de áreas verdes es de 2240 hectáreas por lo que, el Índice de Áreas Verdes resulta en 16,85 m²/hab. (Nuestra Córdoba, 2012). Teniendo en cuenta que la Organización Mundial de la Salud establece como área óptima 15 m² de espacios verdes por habitante, distribuidos equitativamente en relación a la densidad de población (Carballo et al., 2015), la ciudad de Córdoba se encontraría en el rango óptimo del índice. A pesar de ello, los metros cuadrados de espacios verdes no se encuentran distribuidos proporcionalmente a la densidad de la población, y es comparativamente bajo en relación a otras ciudades de Latinoamérica consideradas “verdes”, como, por ejemplo, la ciudad de Curitiba (Brasil) con 52 m²/hab. (Economist Intelligence Unit, 2012). En su informe preliminar sobre la isla de calor en la ciudad de Córdoba, Del Gesso y Romero (2018) presentan una serie de imágenes comparativas, obtenidas a partir del sensor MODIS (TERRA/AQUA), tanto de la temperatura superficial de la tierra (LST), como del índice normalizado de vegetación (NDVI), que ilustran claramente la situación ambiental en la ciudad (figura 1). Este último índice proporciona un contraste espacial y temporal de las condiciones de la vegetación. En la figura 1 se puede observar la disminución del índice de vegetación a medida que nos aproximamos a zonas densamente construidas.

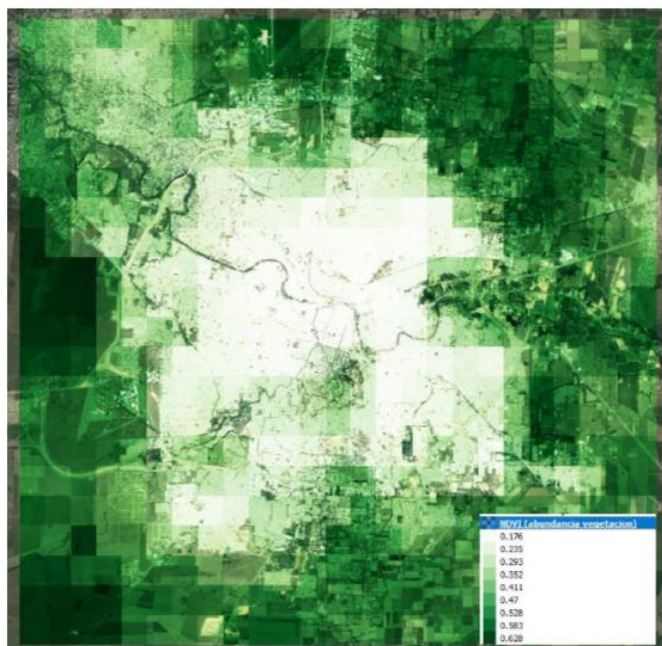


Figura 1. Imagen espacial de la abundancia de vegetación según NDVI dentro del ejido municipal de la ciudad de Córdoba (Del Gesso y Romero, 2018). Los colores verdes más intensos en la imagen corresponden a NDVI mayor, lo que infiere mayor abundancia de vegetación.

La pérdida de calidad ambiental se refleja claramente cuando observamos el efecto del calor urbano en la ciudad de Córdoba. Aproximadamente el 45% de la superficie total del ejido se encuentra a una temperatura mayor que la media (Del Gesso y Romero, 2018; figura 2). En la imagen se puede observar cómo la temperatura superficial aumenta a medida que nos aproximamos a las zonas más densamente construidas y disminuye en las zonas con mayor índice de vegetación (Del Gesso y Romero, 2018).

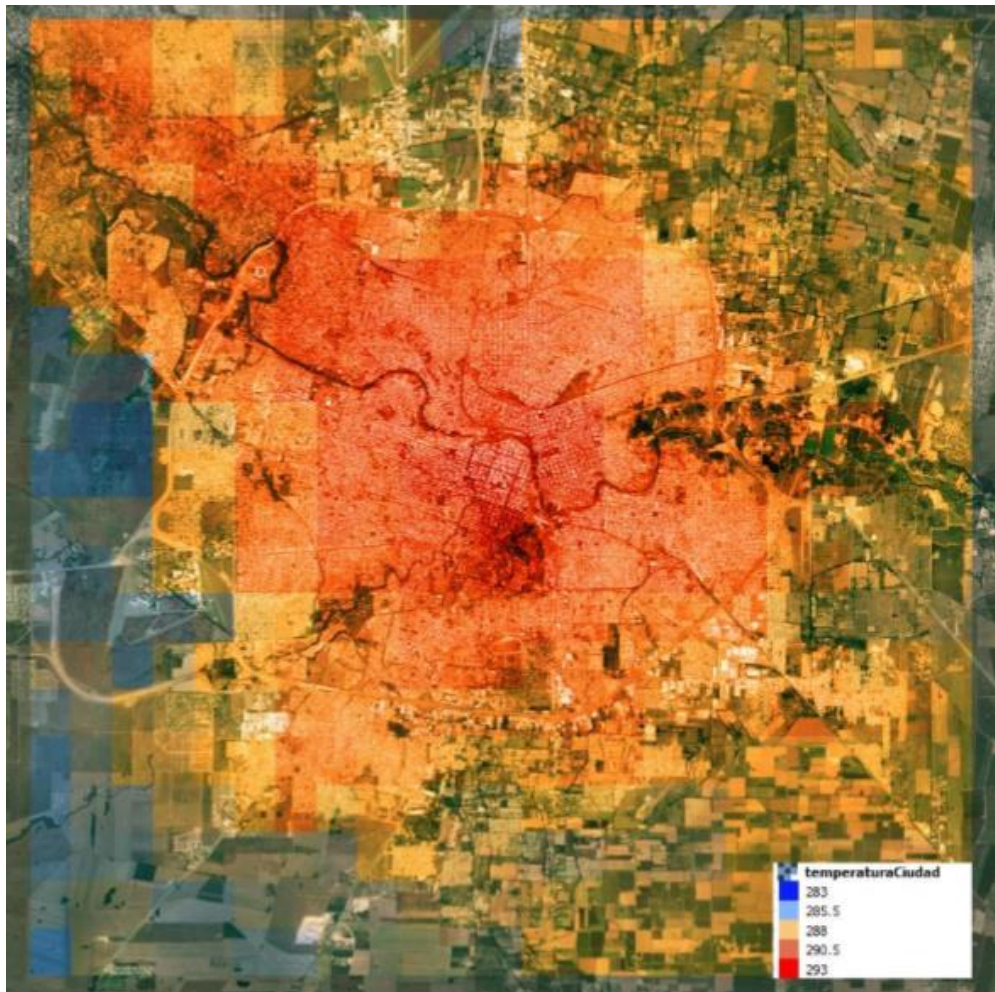
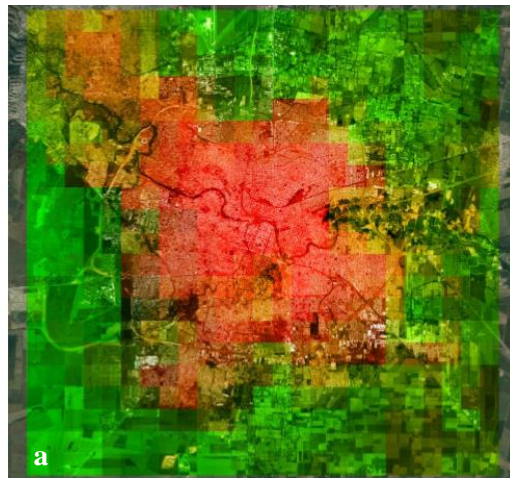


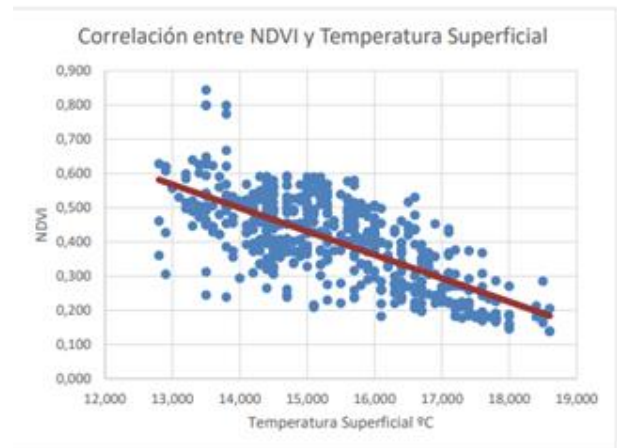
Figura 2. Zonificación de la temperatura media superficial (expresada en grados Kelvin) en el ejido de la municipalidad de Córdoba. (Del Gesso y Romero, 2018)

Como la superficie de techo representa aproximadamente un 30% del total de los edificios, estos problemas pueden mitigarse parcialmente al trabajar sobre las propiedades constructivas de los edificios, más aún en el tramo horizontal. Los techos pueden representar hasta el 32% de la superficie horizontal de las áreas edificadas (Frazer, 2005) y son determinantes importantes del flujo de energía y de las relaciones de agua de los edificios. A medida que la abundancia de la vegetación disminuye, la temperatura superficial en el espacio urbano aumenta, esto se puede

visualizar en la imagen del índice de vegetación normalizado y el gráfico de temperatura superficial de la figura 3.



a



b

Figura 3. a) Imagen compuesta de Abundancia de vegetación medida en índice de vegetación normalizado (NDVI) y Temperatura media Superficial; b) Correlación entre el NDVI y la Temperatura media Superficial para la ciudad de Córdoba (Del Gesso y Romero, 2018).

Por otro lado, el fenómeno de las ciudades impermeabilizadas, va en desmedro de la reposición de los sistemas naturales, principalmente de las fuentes del recurso agua. La superficie impermeabilizada concentra las aguas pluviales residuales que requieren obras de infraestructura para su manejo (figura 4). Controlar su contaminación y gestionar su traslado ayuda a eludir costosos tratamientos de aguas residuales. Actualmente la gestión y uso del agua conforma uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta para incorporar criterios de sustentabilidad en el diseño del hábitat urbano (Angiolini, 2018). Se suma a esto, la forma en que los techos verdes influyen en la calidad del agua que pasa a la red de desagües urbanos una vez que ha sido drenada y ha pasado a través de todas sus capas (Hayas López et al., 2015). En la figura 4 se puede observar que el mayor riesgo de inundación se encuentra en el centro del ejido urbano.

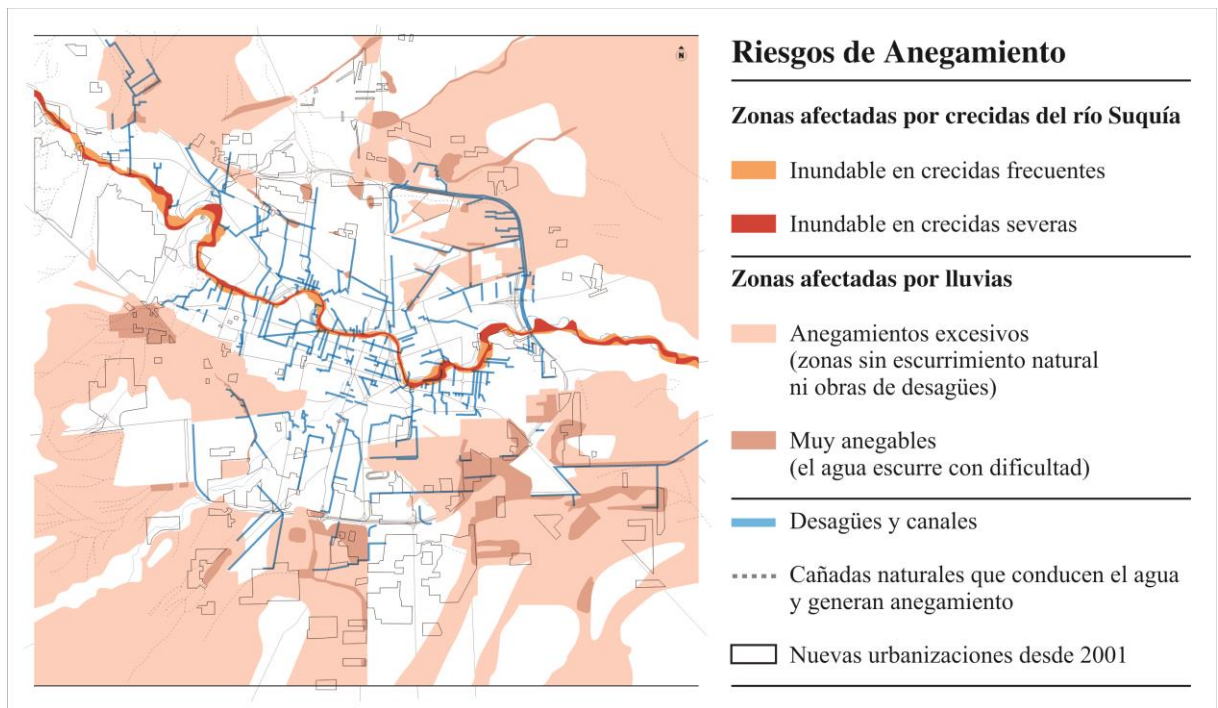


Figura 4. Mapa del nivel de riesgo de inundación de la ciudad de Córdoba (fuente: Municipalidad de Córdoba; publicación de La Voz del Interior. 28 - 02 - 2016)

Es por eso que, los techos verdes han sido promovidos como una práctica de construcción sostenible en ciudades de todo el mundo como respuesta a estas tensiones ambientales. Como ecosistemas antropogénicos relativamente pequeños y simples, los techos verdes se relacionan con varias teorías ecológicas existentes, tanto conceptuales como aplicadas. Los estudios desde la mirada de la ecología en sus diversos enfoques (ingeniería ecológica, ecosistemas gestionados, construcción, ecología urbana, ecología del paisaje, ecología de la restauración, de la reconciliación, del suelo y ecología comunitaria) demuestran que los ecosistemas de techos verdes pueden ser creados para hacer más eficiente el uso de la energía, el reciclado de los nutrientes y los materiales dentro del tejido urbano. En la figura 5 se muestran a modo de esquema las relaciones del ecosistema, explicando las entradas y salidas del sistema impulsadas por el flujo de energía (Modelo explicado por Odum, 1971).

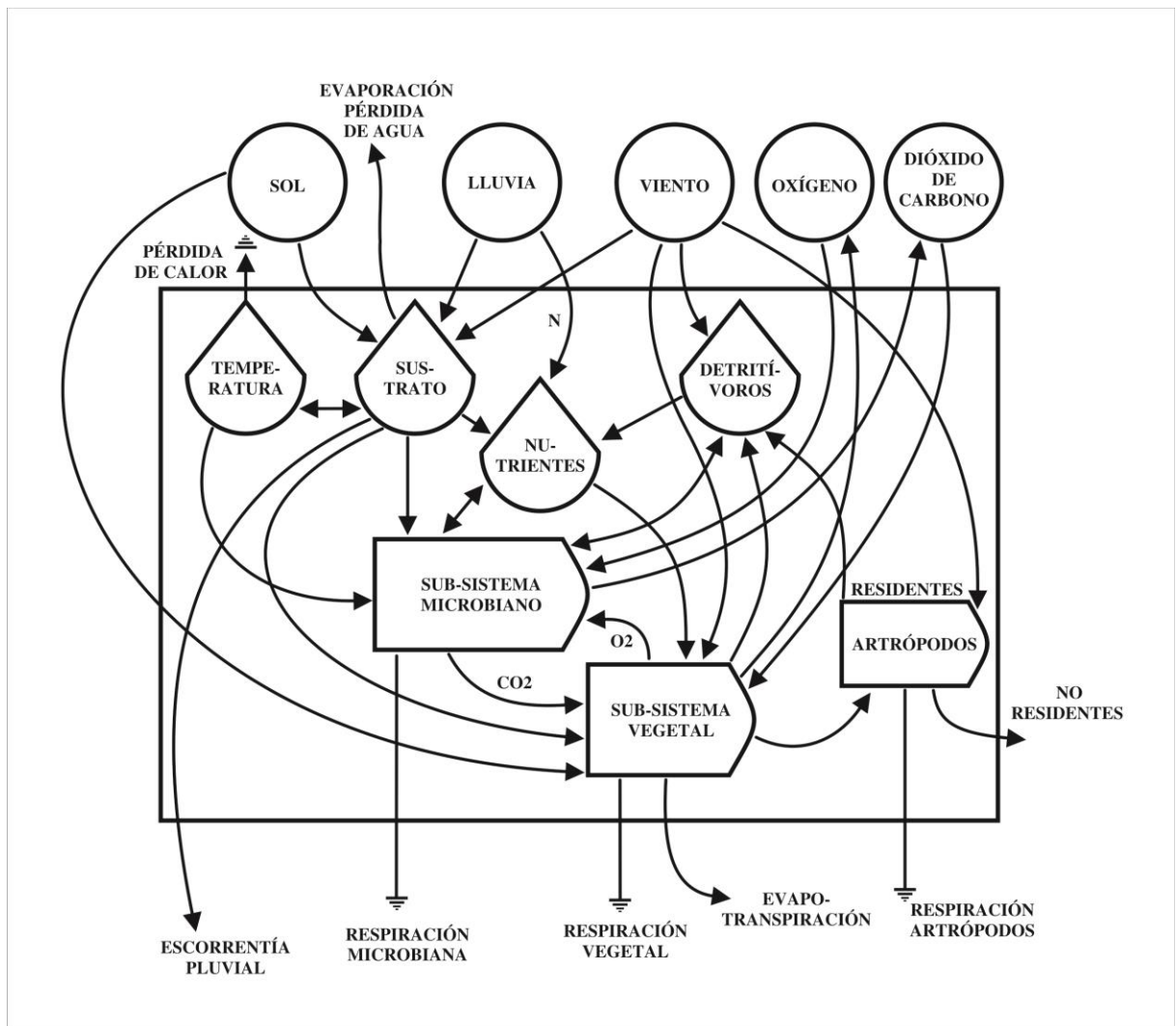


Figura 5. Esquema del modelo de ecosistema: explica las entradas y salidas del sistema impulsadas por el flujo de energía (según Odum, 1971).

Enright (2013) define los techos verdes como parches antropogénicos incipientes, novedosos, algo aislados, que consisten en una serie de membranas, un sustrato diseñado (el medio de cultivo) y un conjunto de plantas colocadas sobre edificios u otras estructuras. Se caracterizan por sus perfiles poco profundos, con una marcada exposición al viento, creando un nicho inusual con pocos posibles análogos naturales (Lundholm y Richardson 2010; Sutton et al., 2012). Si lo representamos en un corte transversal, más allá de las variantes, podemos comenzar en la parte inferior con el sistema estructural del edificio, luego una cubierta de aislamiento (parte del edificio o no) y la membrana impermeable. Hacia arriba comienzan las capas propias de la cubierta viva, con la membrana anti-raíz, la capa de drenaje, la capa filtrante del drenaje, la capa del sustrato o medio de cultivo y, finalmente, la capa viva o de plantas (figura 6).

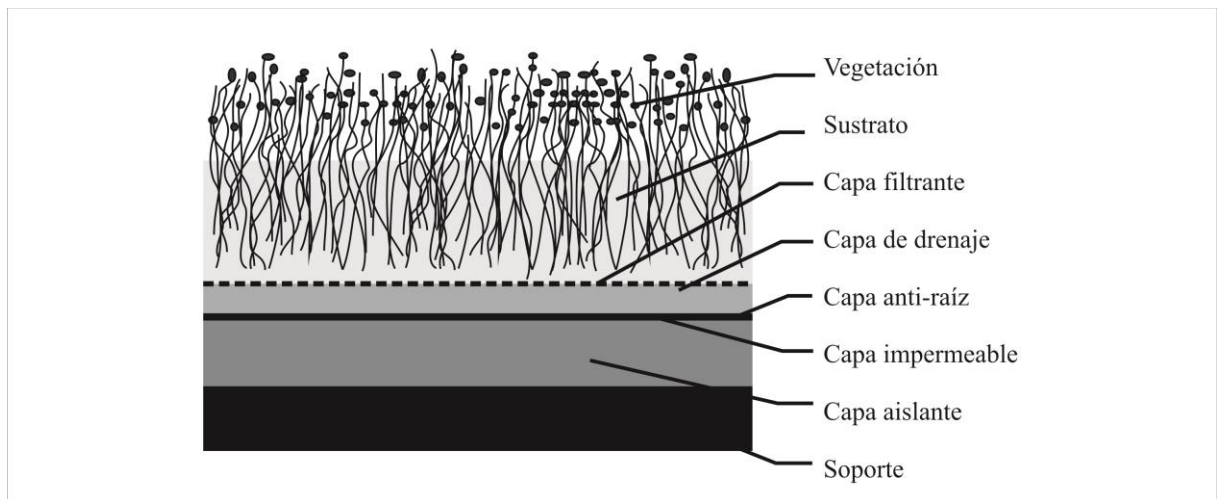


Figura 6. Sección transversal típica del techo verde con sus múltiples capas (según Sutton, 2015).

Si se representan los componentes de los techos verdes en un esquema de relaciones, podemos observar los componentes bióticos y abióticos, sus características e interrelaciones (figura 7).



Figura 7. Componentes bióticos y abióticos del sistema techo verde (adaptado de Vijayaraghavana, 2018).

Además de su composición, podemos avanzar en la clasificación de los techos verdes, donde en dos extremos se sitúan los sistemas extensivos y los intensivos, con un intermedio

entre ambos (semi-intensivos). Se comparan los sistemas a través de diferentes características: la profundidad del sustrato, la accesibilidad, el peso del sistema en saturación total, la diversidad y comunidad de las plantas, el uso, el costo y el mantenimiento (tabla 1). Los techos que están diseñados para simular jardines o parques como los que se encuentra a nivel del suelo, requieren un medio de crecimiento o sustrato con profundidades mayores a los 15 cm; son los que hemos denominado intensivos, los cuales necesitan alto mantenimiento. Como consecuencia, requieren inversiones sustanciales para su construcción y cuidado de las plantas. Hacen hincapié en el uso activo del espacio, su aptitud para ser transitado, la capacidad de permanencia del mismo para el ocio y, por lo tanto, tienen mayores expectativas estéticas. En contraste, en el sistema extensivo, los techos verdes utilizan profundidades de sustrato menores a 15 cm y consiguientemente, poseen expectativas estéticas inferiores, requieren menor mantenimiento (Getter, 2009) y su propósito es principalmente funcional (Dunnett y Kingsbury, 2004).

TABLA 1. Clasificación de tipos de techos verdes de acuerdo las características más importantes.

Características	Extensivos	Semi-intensivos	Intensivos
Profundidad del sustrato	150 mm o menos	Entre 150-200 mm	Más de 200 mm
Accesibilidad	A menudo inaccesible	Parcialmente inaccesible	Usualmente accesible
Peso en saturación total	Bajo (70-170 kg/m ²)	Variado (170-290 kg/m ²)	Alto (290-970 kg/m ²)
Diversidad de plantas	Baja	Alta	Muy alta
Comunidad de plantas	En su mayoría <i>Sedum</i> spp, herbáceas, gramíneas	Gramíneas, herbáceas, arbustos	Perennes, arbustos, árboles
Uso	Capa protectora ecológica	Techo verde con diseño	Parques como jardines
Costo	Bajo	Intermedio	Alto
Mantenimiento	Mínimo	Intermedio	Alto

Los techos verdes o techos con vegetación, son recomendados e instalados en áreas urbanas, buscando los beneficios o servicios ecosistémicos que brindan. Los beneficios de los techos verdes se pueden agrupar en las siguientes categorías: la gestión de aguas pluviales, la conservación de energía y la provisión de hábitat urbano. Con respecto a la gestión de aguas pluviales, los techos verdes pueden mitigar el efecto nocivo de la escorrentía concentrada por los desagües de los edificios, por retención de la precipitación con el “efecto esponja” del sistema vivo, reduciendo así el volumen de flujo hacia la infraestructura de aguas pluviales y vías fluviales urbanas (Oberndorfer et al., 2007; Bates et al., 2015; Berndtsson, 2010; Morgan et al., 2012). Cuando se menciona el efecto de los techos verdes sobre la energía existe, por un lado, la capacidad de mitigación potencial para el problema del efecto de “isla de calor urbana” y de la reducción del costo energético hacia el interior de los edificios, por el otro. Entre las diferentes estrategias que se han sugerido para trabajar este problema, se ha comprobado que aumentar la cobertura verde con un buen arbolado urbano y sumando superficie verde en techos y azoteas de edificios, es una manera complementaria de mitigar el fenómeno de las islas de calor urbano (ICU) (Getter y Rowe, 2006; Odli et al., 2016). Si se observa el beneficio al interior del edificio, el sistema reduce la necesidad energética destinada a mantener la temperatura tanto en verano como en invierno, de este modo reducen el presupuesto de energía de un edificio y de una ciudad (He y Jim, 2010; Jim y He, 2010; Teemusk Mander, 2010; Feng et al., 2010). Atenuando la temperatura a nivel de la loza en los edificios, se prolonga además la vida útil de las membranas que impermeabilizan el techo (Porsche y Köhler 2003; Kosareo y Ries, 2007). La cubierta viva intercepta la radiación solar directa sobre las membranas sintéticas, las cuales al no estar expuestas a los factores climáticos en forma directa alargan su sobrevida de manera muy considerable (Carter y Keeler, 2008; Bianchini y Hewage, 2012).

El techo verde con vegetación (TVV) proporciona beneficios ambientales, sociales y económicos al entorno construido (Durhman et al. 2007; Rayner et al., 2016; Cáceres et al., 2018). Por ejemplo, los TVV pueden interceptar y retener aguas pluviales (Dietz y Clausen, 2006), filtrar hasta 90% de los contaminantes que puede arrastrar el agua de lluvia (Dalmasso et al., 1997), hacer posible una reducción de la transferencia de calor (Obendorfer et al., 2007) y del ruido (Van Renterghem y Botteldooren, 2009) mediante la construcción de tejados hacia el interior y proporcionar hábitat para la biodiversidad nativa (Dvorak y Volder, 2010). En general, los TVV mejoran la salud y el bienestar de los humanos (Bolaños Silva, 2011). Cuando se menciona el término de provisión de hábitat urbano, se engloban los beneficios otorgados por los techos verdes como aislación acústica (Dunnett y Kingsbury, 2004; Van Renterghem y Botteldooren, 2008; Yang et al., 2008; Dunnet, Kingsbury, 2004), como filtros de

contaminantes atmosféricos (Berndtsson et al., 2009) y de lluvias, como aumento de la biodiversidad urbana y mejora de la calidad de vida y contacto con la naturaleza. Los techos verdes aumentan la biodiversidad urbana (Baumann, 2006; Brenneisen, 2006), sumando nuevos componentes bióticos, no solo especies vegetales (Cook-Patton y Bauerle, 2012; Madre et al. 2014) sino también insectos (MacIvory y Lundholm 2011) y aves (Coffman y Waite, 2011). La inclusión de los techos verdes es una oportunidad para conservar y enriquecer la biodiversidad en entornos urbanos (Gómez-Baggethun y Barton, 2013). Por último, mejoran la calidad de vida y el contacto con la naturaleza (Kaplan and Kaplan, 1989; Kahn, 1999; Louv, 2012). Todas esas conexiones ayudan a las personas a valorar el mundo natural, a estar más tranquilos, más alertas e involucrados como humanos. Proporcionan de manera global un ambiente estética y funcionalmente agradable (Getter y Rowe, 2006; Oberndorfer et al., 2007).

Estos beneficios pueden, al mismo tiempo, clasificarse en públicos y privados, según su impacto en el interior de los edificios y las personas que lo habitan y en el exterior de los mismos, donde los techos verdes se integran en los procesos de diseño ambiental urbano hacia los habitantes de las urbes (Sutton, 2015). Los servicios ecosistémicos o beneficios públicos descritos por Sutton (2005) son: regulación de la cantidad y calidad del agua de escorrentías pluviales urbanas, mitigación del fenómeno de isla de calor urbana (ICU), captación de carbono y polvo atmosféricos, aumento de la biodiversidad, de superficie de corredores biológicos urbanos y de la calidad del paisaje urbano. En cuanto a los beneficios privados, Sutton (MAE 2005) los divide en: la regulación de las escorrentías pluviales, la prolongación de la vida útil de las membranas impermeables de las terrazas, la aislación acústica, la mejora de la eficiencia energética de los edificios, la posibilidad de creación de espacios para la producción de alimentos (horticultura urbana), la generación de trabajo local, la educación, la formación de conciencia ambiental y el disfrute de la naturaleza en un entorno urbano.

La ciudad de Córdoba se encuentra a los 31°25'0" de latitud Sur y a los 64°11'0"O de longitud Oeste, en las regiones semiáridas del centro de Argentina. Esta región se caracteriza principalmente por un amplio rango de temperatura (diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas diarias), por precipitaciones concentradas durante el período de primavera-verano, y por un período más seco y frío en otoño-invierno (Torres y Galetto et al., 2011). El clima de esta región se clasifica como **BSh** (B: árido; S: Paso y h: árido caliente) según la clasificación climática de Köppen-Geiger. Este tipo de clima se define por la poca precipitación., la segunda letra explica el grado de aridez (S: la precipitación anual promedio oscila entre el 50% y el 100% de la temperatura media anual multiplicada por veinte, más el umbral calculado, si corresponde, según la estacionalidad). La tercera letra explica las temperaturas (h: temperatura

media anual igual o superior a 18°C). Particularmente, las temperaturas medias anuales, máximas medias y mínimas medias registradas para el año durante el ensayo fueron 16,4°, 25° y 8° C, respectivamente. Es por estas características que la selección de plantas es muy importante para estructurar el perfil de un techo verde (Livingston et al., 2004).

La selección de plantas adecuadas para techos verdes extensivos o semiextensivos comparte adaptaciones que les permiten sobrevivir en condiciones limitantes. Estas plantas tienen como caracteres particulares, sus amplios límites de tolerancia a condiciones ambientales más extremas (Grime, 2001), un porte de crecimiento bajo, compacto y un follaje perenne o crecimiento rápido y persistente en el tiempo. Sus estrategias de adaptación son la tolerancia a la sequía o desecación, para lo cual evitan la pérdida de agua (Lee y Kim, 1994). Se suma la capacidad de crecer ante la exposición total al sol, para lo cual, en las combinaciones elegidas se utilizan especies que se originan en hábitats permanentemente abiertos (no forestados) como afloramientos rocosos, acantilados, dunas y sitios con importantes limitaciones climáticas y edáficas (Lundholm, 2006). La capacidad de resistir y recuperarse ante las fluctuaciones o perturbaciones ambientales influyen en el desempeño del techo verde (Oberndorfer et al., 2007). Aunque *Sedum* sigue siendo el género más utilizado para los techos verdes, el alcance de la vegetación de los techos verdes es amplio, y aún hay muchas posibilidades por aprovechar (Oberndorfer et al., 2007). Las plantas nativas son una alternativa o una opción para sumar al género *Sedum*. en estos nuevos paisajes urbanos, debido a sus adaptaciones a las condiciones ambientales locales. Los arreglos de vegetación nativa (particularmente del estrato herbáceo), son producto de sus adaptaciones al estrés ambiental local y ofrecen oportunidades de prueba y experimentación. Además, la sumatoria de funciones en la vegetación favorece el establecimiento de estas comunidades, así como el funcionamiento y desempeño de las mismas. En resumen, los beneficios del techo verde se derivan parcialmente de los componentes vivos del sistema, pero se necesita más investigación para determinar las relaciones entre los parámetros de la comunidad biótica y el funcionamiento del ecosistema, con miras a seleccionar componentes bióticos que puedan mejorar el rendimiento del techo verde.

Los techos verdes son una alternativa de mitigación del problema de pérdida de calidad de vida urbana, uno de los principales impedimentos para la adopción de esta tecnología en zonas semiáridas es la falta de conocimiento y de investigación a nivel regional (Williams et al., 2010).

Los antecedentes de los últimos 15 años de investigación sobre techos verdes en climas semiáridos en varios lugares del mundo como Australia (Williams et al., 2010), el Sudeste Asiático (Tan y Sia, 2005), Europa del Sur, en la zona del Mar Mediterráneo (Fioretti, 2010),

en América Central (Müller García, 2005), y en los Estados Unidos, en Texas (Simmons, 2008; Volder y Dvorak, 2014), Florida (Wanielista, 2008) y Georgia (Carter y Rasmussen, 2006). La gran mayoría se centran en la eficiencia de los servicios eco sistémicos relacionados directamente con la supervivencia del componente vivo, incorporando diversidad a la probada matriz CAM con gramíneas, herbáceas y arbustos nativos (Snodgrass y Snodgrass, 2006; Tan y Sia, 2005; Sonne, 2006). En el sur de España, se evalúa el ciclo de vida de los techos verdes, la influencias de los distintos sustratos y vegetación en la aislación térmica y acústica de los techos verdes mediterráneos (Coma et al., 2015, 2016, 2017 y 2018). En Portugal, el conocimiento avanza hacia la incorporación de plantas nativas para sistemas de techos verdes con bajo requerimiento hídrico, utilizando otras herramientas tecnológicas como los *biorolls* o *biocrust* (Paco et al., 2017, 2018 y 2019).

En Latinoamérica, Chile está a la vanguardia en investigación sobre la medición del impacto de las cubiertas naturadas (techos verdes y jardines verticales) en la eficiencia energética de los edificios y en la contaminación aérea de los espacios urbanos (Vera et al., 2015, 2016, 2017 y 2018).

En Argentina, dentro de la región semiárida se encuentra Mendoza, con foco en el diseño y la incorporación de tecnologías verdes apropiadas a zonas áridas como una estrategia para el desarrollo urbano-edilicio sustentable mediante el uso de especies de bajo requerimiento hídrico (Flores Asin, Martinez y Canton, 2013). También la mirada abarca el efecto de las cubiertas vegetadas en el comportamiento térmico de espacios interiores y su consecuente ahorro energético, en zonas de clima cálido-seco (Flores Asin, Martinez y Canton, 2015) y en la aplicación de estas tecnologías adaptadas a restricciones hídricas, que permitan incorporar masa vegetal al espacio urbano-edilicio y contribuir al ahorro energético. Se evalúa la respuesta en la eficiencia térmica con la incorporación de varias especies, een especial de *Aptenia* y *Sedum* (Flores Asin, Martinez, Canton y Correa, 2017).

En Córdoba, existe una carencia en el conocimiento y desarrollo de una tecnología de techos verdes particular para las condiciones ambientales de la Ciudad de Córdoba. Existen antecedentes de adaptaciones de técnicas importadas, con dudoso éxito, por lo general de alto costo y mantenimiento. El área de vacancia alcanza a la necesidad de incorporar tecnologías de bajo mantenimiento para el sistema vivo, es decir, con mínima demanda externa de recursos y que ese bajo mantenimiento perdure en el tiempo. Con esto, podemos definir el problema a través de las preguntas: ¿será posible el desarrollo de un sistema de cubierta verde con plantas adaptadas a las condiciones ambientales limitadas de la ciudad de Córdoba, que pueda desarrollarse y funcionar como un sistema vivo, en un sustrato elaborado con materiales locales

y brindando los servicios ecosistémicos esperable para este tipo de cubiertas?; ¿es factible, entonces, plantear una tecnología para el desarrollo de cubiertas verdes, de bajo mantenimiento de acuerdo a las condiciones ambientales de la Ciudad de Córdoba?

En lo que respecta al componente vivo, la oferta de plantas nativas para cubrir estos espacios urbanos en el entorno semiárido y, en particular en la ciudad de Córdoba, no está cubierta. Existen pocos productores y los materiales disponibles, no tienen adaptación a condiciones ambientales limitantes de las cubiertas verdes. El proyecto de mejoramiento genético de germoplasma nativo de nuestro equipo de trabajo, radicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Católica de Córdoba, ha trabajado sobre el género *Glandularia*. Este proyecto ha producido variedades ornamentales de *Glandularia* spp, destacadas por su aptitud ornamental en cantero y contenedores bajo las condiciones ambientales limitantes de Córdoba, que podrían ser componentes del sistema tecnológico que dé respuesta al problema planteado.

HIPÓTESIS

Hipótesis 1: El número de techos verdes de bajo mantenimiento en la ciudad de Córdoba es escasa, y no incluye especies nativas en su componente vegetal.

Hipótesis 2: Las poblaciones vegetales de especies nativas son materiales con potencialidad de uso para ambientes similares a las cubiertas verdes. En particular, las especies del género *Glandularia* presentan aptitud especial para su introducción en sistemas de cubiertas verdes de bajo mantenimiento en la ciudad de Córdoba.

A partir de ambas hipótesis, el presente trabajo tendrá como **Objetivo General:**

“Contribuir al desarrollo de una tecnología de cubierta verde, de bajo mantenimiento, perdurable en el tiempo y con introducción de materiales provenientes de plantas nativas (en particular del género *Glandularia*), para la zona urbana y periurbana de la Ciudad de Córdoba.”

Para lograr este Objetivo, se plantean los siguientes **Objetivos específicos** a desarrollar:

- I. Realizar un diagnóstico de situación de los sistemas de techos verdes de la zona urbana y periurbana de la ciudad Córdoba.
- II. Desarrollar un conjunto de lineamientos que respondan a las necesidades de las cubiertas verdes, en especial, los implicados en la sostenibilidad del sistema en zonas semiáridas.

- III.** Proponer un sistema tecnológico de cubiertas verdes para ambientes semiáridos, de acuerdo al conjunto de lineamientos de sostenibilidad elegidos.
- IV.** Caracterizar materiales selectos de especies nativas (en particular del género *Glandularia*) en proceso de mejoramiento por su aptitud como componente de sistemas de cubiertas verdes en zonas semiáridas.
- V.** Seleccionar los materiales con mejor desempeño por su aptitud como componente de sistemas de cubiertas verdes en zonas semiáridas.

CAPÍTULO I. Relevamiento de los techos verdes existentes en la ciudad de Córdoba, Argentina

I.1. INTRODUCCIÓN

Si bien existen otras soluciones para mitigar la “isla de calor urbana” como los techos blancos o el aumento de vegetación en parques y espacios verdes destinados para tal fin, la diferencia de las cubiertas verdes respecto a estas estrategias de intervención, radican en los beneficios que se le suman a la mitigación del efecto de la isla de calor urbano y regulación térmica, como la mitigación de la escorrentía, incremento de la biodiversidad, valorización de los edificios, suma de visitantes biológicos, mejora en la calidad del aire, entre otros (Francis y Jensen, 2017). La implementación de tecnologías verdes con adaptación hídrica permite incorporar una masa vegetal al espacio urbano-edificio que contribuya al ahorro energético de los espacios interiores (Susca, 2019). Esta incorporación conforma una estrategia de mitigación de los efectos de la actividad humana en el entorno, de valorización de la calidad energética y ambiental, logrando un uso racional de los recursos disponibles en la región (Flores Asin et al, 2015). La elección de las características de un techo verde y la selección de las especies a plantar dependen del techo, del tipo de edificación, del uso del edificio y del clima donde se encuentra (Williams et al., 2010). Esta situación fue advertida por el Consejo Deliberante de la ciudad de Córdoba, que sancionó con fuerza de ordenanza la norma N° 12548 e identificó a las cubiertas verdes como alternativa para resolver la situación ambiental planteada. La Ordenanza tiene por objeto incorporar al Código de Edificación vigente (Ordenanza N° 9387/95), el marco regulatorio para la incorporación de cubiertas y muros verdes dentro de la ciudad de Córdoba, como parte inicial de un Programa Integral de Desarrollo Sostenible para la ciudad, que incorpore el concepto de construcción sostenible, tendiente a: a) mejorar la calidad ambiental de la ciudad de Córdoba, b) reducir el impacto ambiental producido por las superficies edificadas, introduciendo los conceptos de eficiencia energética y construcción sustentable, como requisitos indispensables en la agenda mundial actual y c) incorporación gradual de tecnologías y sistemas de construcción sostenibles que garanticen el mínimo impacto ambiental de los edificios.

Es por eso que los techos verdes incorporados al tejido urbano son una parte de la solución real a estos problemas ambientales, siendo fuente de importantes servicios ecosistémicos. Los beneficios asociados a estas biotecnologías son variados y van desde la mitigación de los efectos de la temperatura en el interior de las unidades habitacionales, permitiendo, por lo tanto, una reducción del consumo energético comparado con los sistemas de cubiertas convencionales, hasta aportar a la sociedad valores estéticos y de confort. Se pretende mejorar la calidad de vida de los habitantes gracias a la integración paisajística que brindan, como se detalló anteriormente (Minke, 2004, Niachou et al, 2001; Ramírez y Bolaños Silva, 2012; Santamouris, 2012, Van

RetengheryBotteldoorem, 2008, Rosatto et al., 2010; Carter y Jackson, 2007, Speak et al., 2012; Zielinski et al., 2012 y Oberndorfer et al., 2007).

En estos últimos años, los envolventes verdes como las cubiertas naturadas y muros vivos se han expandido en las grandes urbes de Latinoamérica. El Observatorio Ambiental de Bogotá (2015) ha registrado una superficie de aproximadamente 8700m² de estas cubiertas. Otro ejemplo, es la capital chilena, donde un estudio llevado a cabo por el Laboratorio LIVE de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile indica que sus construcciones edilicias presentan una superficie de 50000 m² de cubierta verde, de los cuales el 90% (45000m²) se encuentran en el área metropolitana (Burotto, 2014; López, 2010).

La adopción de estos sistemas en Argentina es aún un proceso incipiente. En noviembre del año 2015, la Agencia de Protección Ambiental de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires relevó un total de 77 techos verdes, representando un total de 25000m², de los cuales sólo 12 obras fueron desarrolladas por el ámbito público (3500m²) (Pacilio, 2015). Sin embargo, aún se desconoce el estado de situación real de los techos verdes de la ciudad de Córdoba. Ante esta falta de información, se hace imperioso realizar un relevamiento de techos verdes en dicha urbe, para saber la cantidad de superficie impermeabilizada cubierta portales techos, la forma y disposición de los sistemas constructivos y la necesidad de mantenimiento de los mismos. De esta forma se puede fortalecer la implementación de la Ordenanza N° 12548 y dar una respuesta a la mejora en la construcción de espacios urbanos, a través de criterios o lineamientos de sostenibilidad. Al mismo tiempo, se pretende generar la información necesaria sobre la aplicación de estas tecnologías “verdes o eco- amigables” en las condiciones ambientales y urbanísticas de la ciudad de Córdoba.

I.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar el relevamiento, se planificaron las etapas necesarias a los fines de un diagnóstico de los sistemas de techos verdes de la ciudad Córdoba. El plan de acción fue organizado en cuatro etapas que se muestran a continuación:

- 1° etapa: Localización de techos verdes existentes.
- 2° etapa: Relevamiento técnico de techos verdes.
- 3° etapa: Orden y sistematización de la información.
- 4° etapa: Elaboración del diagnóstico situacional.

I.2.1. Primera etapa: Localización de techos verdes existentes

Para realizar esta primera etapa se convocó a todos aquellos actores sociales relacionados con la temática, incluyendo miembros de diferentes equipos de trabajos de las instituciones: Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales y Sustentabilidad (IRNASUS), del Colegio de Arquitectos de la provincia de Córdoba, del Instituto Multidisciplinario de Biología Vegetal (IMBIV), de las Facultades de Arquitectura y Agronomía de las Universidades Nacional y Católica de Córdoba, y representantes del Área de Educación para la Conservación del Jardín Zoológico de Córdoba y de otras carreras de pregrado y grado como la Licenciatura en Gestión Ambiental (Universidad Blas Pascal) y la Tecnicatura Universitaria en Jardinería y Floricultura (Universidad Nacional de Córdoba). Además, se convocó a paisajistas, a empresarios del sector viverista y a empresas prestadoras de servicios de espacios verdes que ofrecen este tipo de tecnología. Es importante mencionar que se hizo extensiva la invitación al público en general, de manera de involucrar a todo ciudadano interesado en la sustentabilidad urbana.

La convocatoria se concretó a través de una reunión con los primeros interesados, en la cual se expuso la idea del proyecto y se acordaron las etapas a seguir anteriormente mencionadas. Uno de los puntos a consensuar fue el área de cobertura del relevamiento, estipulando el ejido municipal de la ciudad de Córdoba como territorio donde se desarrolló la búsqueda. Esta decisión se justifica no solo desde el punto de vista legislativo ya que existen ordenanzas particulares para cada municipio, sino también desde la perspectiva de la densificación urbana y su problemática acorde, la cual es claramente diferente entre la ciudad de Córdoba y el área metropolitana de la misma.

A partir de allí, se sucedieron reuniones quincenales desde abril hasta agosto de 2016, en donde se realizó una puesta en común de la información recabada a través de los distintos medios. Se confeccionó una lista de techos verdes de Córdoba, la cual se fue actualizando en los distintos encuentros. La lista se ordenó y se distribuyó entre los participantes para realizar contacto con los responsables de cada obra y/o usuarios, a fin de poder avanzar hacia la siguiente etapa.

I.2.2. Segunda etapa: Relevamiento técnico de techos verdes

Una vez elaborada la lista de techos verdes identificados en el ejido municipal de la ciudad de Córdoba, se realizó el relevamiento técnico de los mismos. Este análisis se llevó a cabo mediante encuestas semiestructuradas confeccionadas para tal fin. La encuesta fue acordada por el grupo interdisciplinario de trabajo que fue aportando lo necesario para cubrir los distintos puntos técnicos que permitieron analizar la realidad de los sistemas existentes.

Los puntos acordados a relevar en cada caso identificado fueron:

- Dispersión: ubicación georreferenciada de los techos dentro del tejido urbano.
- Tamaño: en metros cuadrados cubiertos por el sistema vivo.
- Mantenimiento: frecuencia de riegos y tareas como control de malezas o fertilizaciones.
- Tipos de cubierta: de acuerdo al sistema construido, profundidad del medio de crecimiento sustrato, diseño paisajístico se las clasifican en extensivas, semi extensivas o intensivas.
- Vegetación: especies utilizadas, densidad y marco de plantación de la cubierta verde; vegetación (especies y estado) existente al momento del relevamiento.
- Sustrato: medio de cultivo existente en la cubierta, detalles específicos del sustrato utilizado para la cubierta.
- Proyecto: persona que diseñó la cubierta verde (profesional, el mismo propietario, entre otros).

Una vez iniciada la recopilación de datos concretos sobre las distintas cubiertas verdes, se presentaron situaciones de relevamiento en las cuales no fue posible realizar la encuesta a los propietarios de la construcción en el sitio, por lo tanto, resultó necesario consultar a los técnicos responsables de la obra. En otros casos, no fue factible obtener una respuesta que abarcara las expectativas técnicas de la encuesta, lo cual limitó el universo de conclusiones obtenido.

I.2.3. Tercera etapa: Orden y sistematización de la información

Las fichas técnicas de relevamiento se ordenaron y unificaron en una tabla general para su análisis. Los puntos utilizados en esta sistematización fueron: obra, ubicación geográfica, si el edificio estaba habitado, superficie de la cubierta verde, propágulo para la plantación, especies (número y tipo), pendiente de la terraza, riego (tipo de abastecimiento de agua del sistema), sustrato utilizado (tipo y profundidad), profundidad del sustrato, impermeabilización utilizada, tipo de mantenimiento. Esta organización de la información fue necesaria para pasar a la etapa siguiente de análisis.

I.2.4. Cuarta etapa: Elaboración del diagnóstico situacional.

En esta etapa se elabora el diagnóstico o estado de situación propiamente dicho, es decir, el estado cuanti y cualitativo de la tecnología de techos verdes en los edificios dentro del tejido urbano del ejido municipal de la ciudad de Córdoba. El diagnóstico se elaboró a través de los siguientes ejes transversales:

- Dispersión espacial de los techos verdes relevados.
- Tamaño de la superficie cubierta por el sistema vivo.
- Clasificación de acuerdo a la cantidad de insumos consumidos.
- Tipo de cobertura vegetal.
- Uso, pendiente y soporte del sistema vivo.

I.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I.3.1. Dispersión espacial de los techos verdes relevados

Se relevó un total de veinticuatro (24) techos verdes en la ciudad de Córdoba, de los cuales un 70% se encuentran en el sector identificado como zona de la isla de calor (ICU). El 30% restante se ubicó en barrios residenciales de menor densidad poblacional (figura 8). Se relacionó la ubicación geográfica de los datos recopilados con el mapa termográfico de isla de calor del año 1991 (última información disponible, figura 9), mostrando el gradiente térmico por unidad de distancia en la ciudad de Córdoba.

Si evaluamos la superficie (metros cubiertos de techo verde), el 86% del área cubierta por los mismos se encuentran en la zona de isla de calor planteada (figura 9). Al observar esta variable, el valor relativo es favorable.

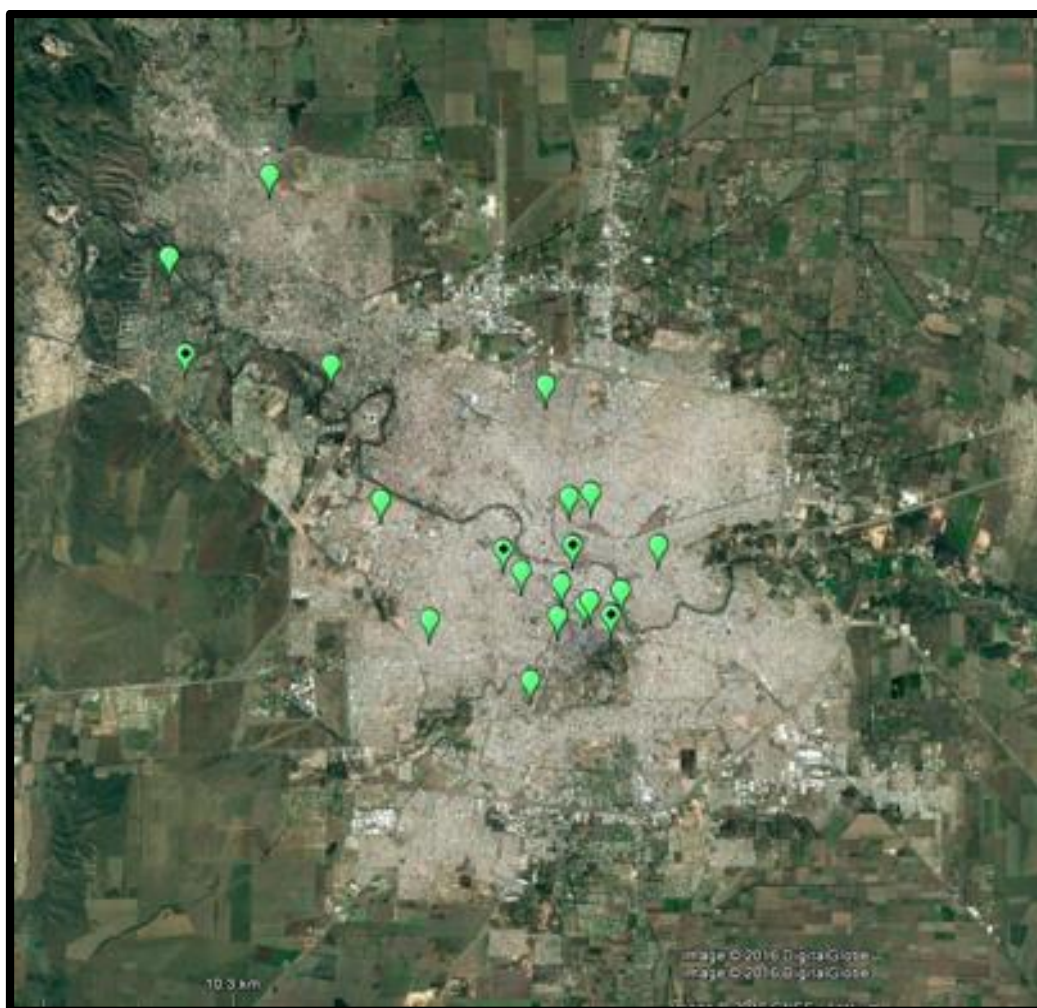
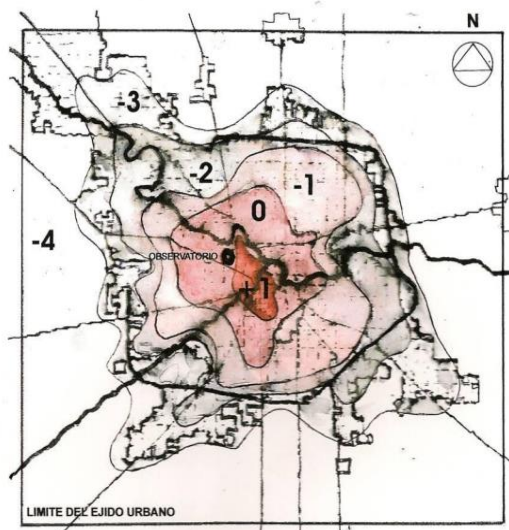
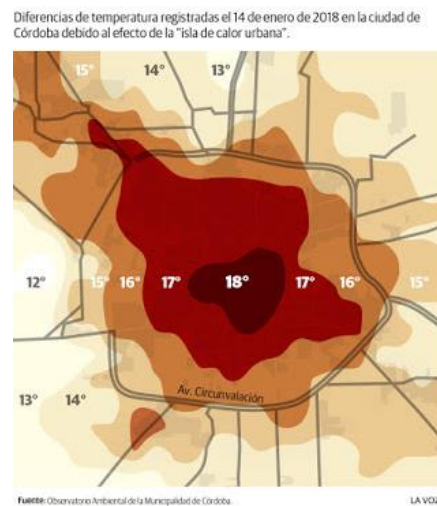


Figura 8. Ubicación espacial de los techos verdes relevados en la ciudad de Córdoba. Los sitios señalados con puntos negros indican más de un techo verde en el lugar (2016).



a.



b.

Figura 9. Mapa termográfico de la ciudad de Córdoba. Ubicación de la isla de calor urbana (ICU). Fuente: Suárez (1991). a) Mapa termo gráfico de la ciudad de Córdoba. Ubicación de la Isla de calor Urbana (ICU). Los números representan los grados centígrados de diferencia con la temperatura normal superficial (0= cero) en el centro de la ciudad. Fuente: Suárez (1991). b) Distribución de temperatura media para el ejido municipal de Córdoba. Fuente: Observatorio Ambiental de la Municipalidad de Córdoba, publicado por La Voz del Interior (09/07/2019).

I.3.2. Tamaño de la superficie cubierta por el sistema vivo

La ciudad de Córdoba presenta un total de 6504 m² de cubierta verde. Es importante conocer la distribución de la misma, dado que los techos verdes funcionan como sistemas vivos y mientras mayor sea el área ocupada por vegetación, mayor será el servicio ecosistémico que brinda (Nassauer, 1997). Por lo tanto, cobra importancia el área cubierta de cada techo, ya que superficies verdes atomizadas distribuidas en la ciudad no funcionan ecológicamente de la misma manera que una continua (Helfand et al., 2005). En el caso de la ciudad de Córdoba, los techos relevados se clasificaron en cuatro categorías de acuerdo a su extensión (figura 10). Un tercio de los mismos presentó un tamaño de entre 26 a 100 m²; el segundo tercio son techos con una superficie de 101 a 400 m², y el último tercio se reparte entre techos de pequeña superficie (menos de 25 m²) o grandes superficies (más de 400 m²).

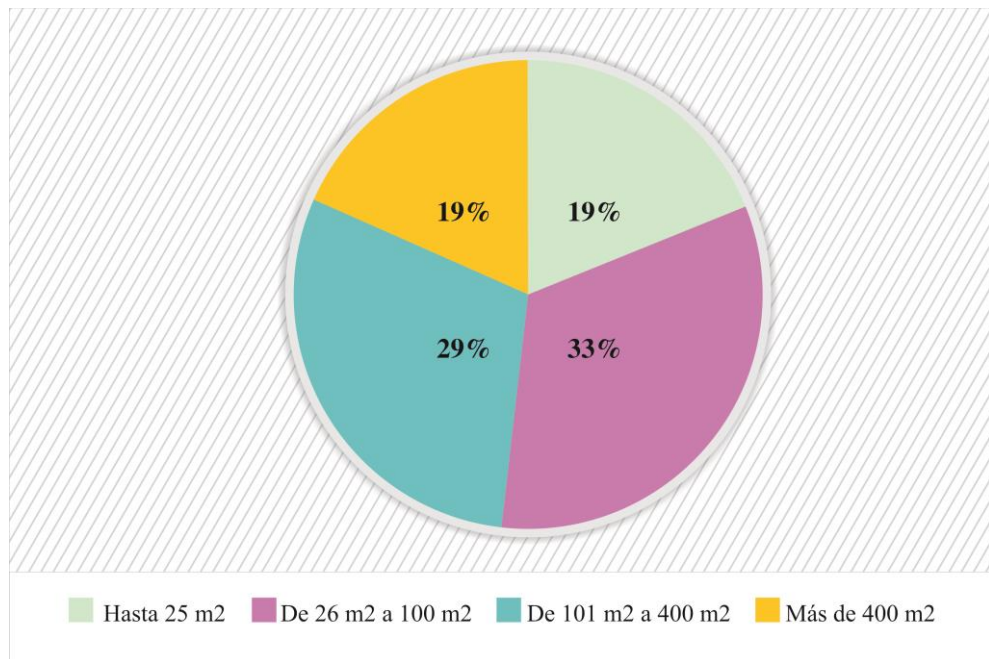


Figura 10. Distribución de porcentajes en los rangos de superficies cubiertas (en m²) de techos verdes en la ciudad de Córdoba.

I.3.3. Clasificación de acuerdo a la cantidad de insumos que el sistema necesitó para permanecer vivo en el tiempo

En este punto se evaluó la necesidad de insumos empleados para la instalación y el mantenimiento del sistema para permanecer funcionando en el tiempo (cantidad y calidad de los mismos). En la clasificación se incluyó la profundidad del sustrato como la primera variable a diferenciar entre techos extensivos o intensivos, y por lo tanto la necesidad del mantenimiento, el tipo de vegetación implantada, el sistema de riego utilizado y la mano de obra necesaria para dicho mantenimiento (en cantidad y frecuencia). De acuerdo a estos criterios se diferenció en techos de:

- a) Alto mantenimiento
- b) Bajo mantenimiento.

a) Alto Mantenimiento: en esta categoría se consideraron aquellos sistemas que pueden tener poca profundidad de sustrato o no. En caso de presentar poca profundidad, lo compensan mediante un sistema de riego por aspersión o goteo, que garantice la humedad en el perfil del sustrato, a través del consumo de energía externa (eléctrica) para su funcionamiento. La abundancia de agua provoca el crecimiento (producción de biomasa) de la vegetación lo cual requiere de nutrientes que deben ser incorporados externamente a través de fertilizantes,

químicos u orgánicos y de personal capacitado para el control del crecimiento. Por lo general, se estructura como un sitio ajardinado, transitable o no, con un importante porcentaje de superficie cubierto por césped, que necesita mantenimiento rutinario (sucesivas intervenciones a lo largo del año) para no perder su estructura y uniformidad.

b) Bajo Mantenimiento: son aquellos sistemas que se caracterizan por tener baja profundidad de sustrato, como máximo 20 cm, el cual funciona sólo con el agua que recibe de las precipitaciones o, en casos especiales, aprovisionado por riego manual puntual esporádico, no sistematizado. La cobertura vegetal se inicia con un plantel de especies de bajo requerimiento hídrico y, con el paso del tiempo, se va diversificando a partir de los procesos sucesionales de colonización espontánea (propágulos que circulan naturalmente en el ambiente). Son sistemas de bajo mantenimiento ya que suelen presentar una o ninguna intervención en el año. Estos sistemas solo reciben insumos externos naturales como polvo ambiental o agua de precipitaciones. La vegetación posee una marcada estacionalidad y una gran diversidad que varía de acuerdo a los años de establecido el sistema. En el caso de la ciudad de Córdoba, se observó que los techos verdes presentaron una proporción similar de intensidad de mantenimiento (la mitad de la superficie implantada necesita alto mantenimiento para su persistencia en el tiempo) (figura 11).

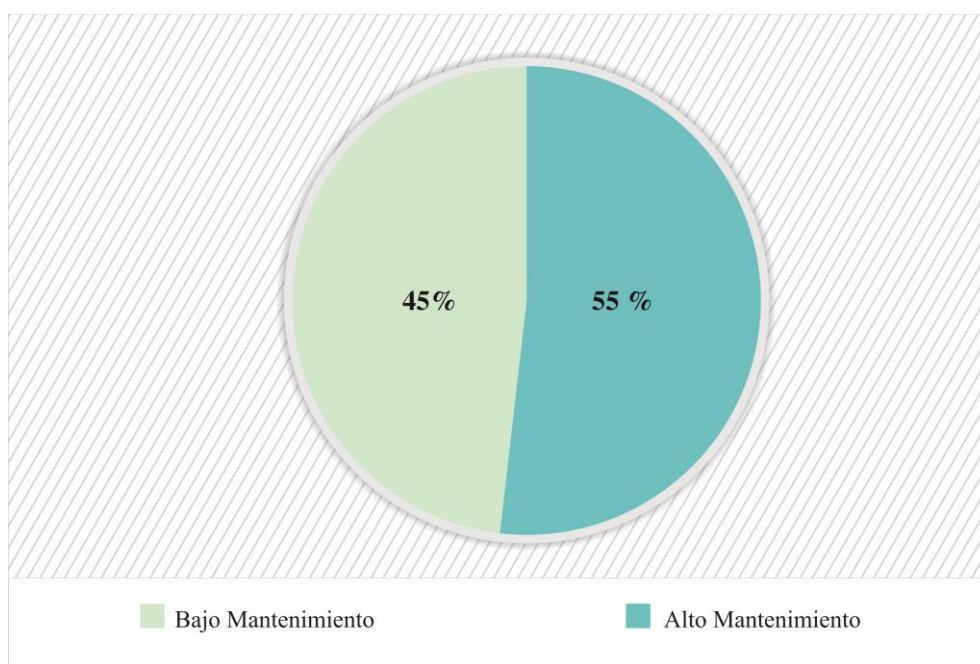


Figura 11. Distribución de porcentajes de techos verdes según la cantidad de insumos requeridos: bajo mantenimiento y alto mantenimiento.

I.3.4. Tipo de cobertura vegetal

Lograr una buena cobertura vegetal es una de las premisas del éxito del techo verde, ya que garantiza una trama o una red superficial que mitiga los impactos negativos de factores limitantes ambientales, tales como las precipitaciones y los vientos, sobre todo el daño mecánico de las gotas de lluvia y el arrastre de partículas de suelo por las escorrentías pluviales. En todos los casos, una cobertura de más del 70% de la superficie cubierta por la vegetación, garantiza un bajo impacto negativo, además de aportar al correcto funcionamiento del sistema vivo. De los techos verdes relevados, un 90% presentó una cobertura mayor al 70%, en tanto el 10% restante no logró una implantación exitosa, con problemas para el mantenimiento posterior de la cubierta.

Los tipos de cobertura vegetal en los techos verdes evaluados, se analizaron a través de los aspectos anteriormente planteados y se encuentran relacionados con la clasificación del punto anterior, en techos de bajo y alto mantenimiento. Ciertas especies vegetales no pueden desarrollarse en espacios limitados (techos verdes) sin el aporte de insumos externos, mientras que otras se ven favorecidas en su supervivencia, desarrollo y multiplicación en tipologías de cubiertas de bajo mantenimiento, ya que se seleccionan sólo por adaptación y supervivencia.

En relación al tipo de cobertura vegetal y su composición, los techos relevados fueron clasificados en:

- a) Base de césped
- b) Mezcla de especies.

a) Base de Césped: incluye aquellos techos que han sido implantados con una importante superficie cubierta por césped (monoespecíficos, especies cespitosas) en alfombra, champas o estolones y pueden o no estar acompañados por algún arreglo ornamental de otras especies acompañantes.

b) Mezcla de especies herbáceas: son aquellos techos cuya cobertura es a base de herbáceas de rápido crecimiento (por lo general cespitosas), cubresuelos, con buena capacidad de supervivencia, como algunas especies de plantas suculentas del género *Sedum*; y/o especies de gramíneas, que se implantan a partir de plantas individuales. En su gran mayoría, las características del sistema permiten el desarrollo de un grupo de especies ruderales que prosperan a partir de semillas que vienen en el sustrato o se encuentran en el ambiente, iniciando procesos de colonización y establecimiento de distintas poblaciones. De los techos verdes relevados, más de la mitad (67%) son techos con base de césped (figura 12).

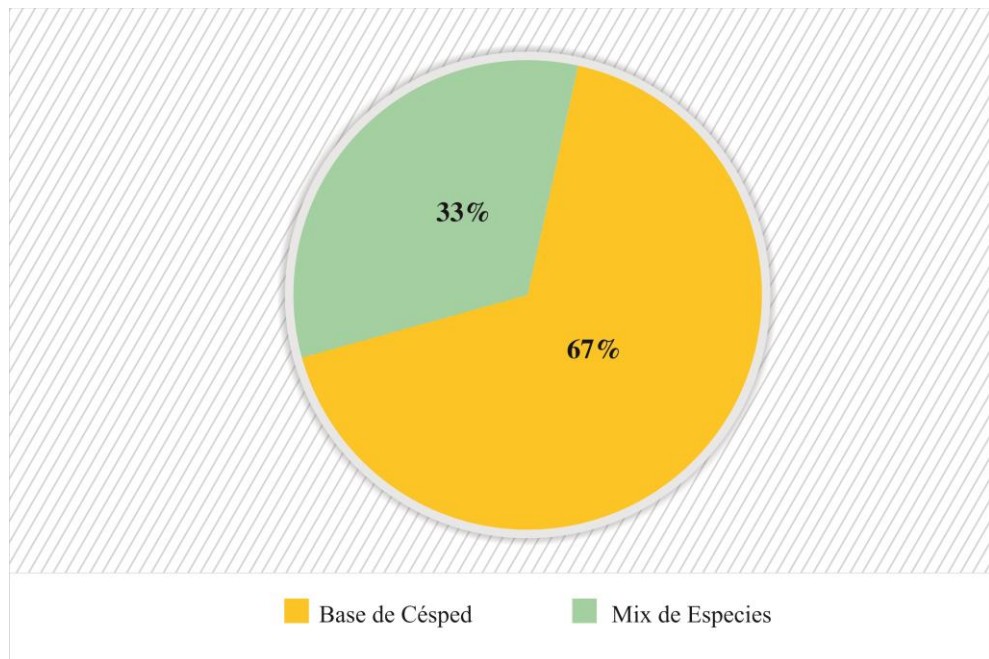


Figura 12. Distribución de porcentajes de las distintas coberturas vegetales en techos verdes de ciudad de Córdoba: base de césped; mezcla de especies.

En función a la observación de lo relevado, casi la totalidad de los techos vivos (95%) son planos o con una mínima pendiente, lo cual hace referencia a la funcionalidad. Sumado a esto, el 75% de los mismos son de carácter transitable, lo cual permite inferir que uno de los principales objetivos de incorporar techos verdes es la posibilidad de disfrute por parte de usuarios del espacio verde creado (figura 13).

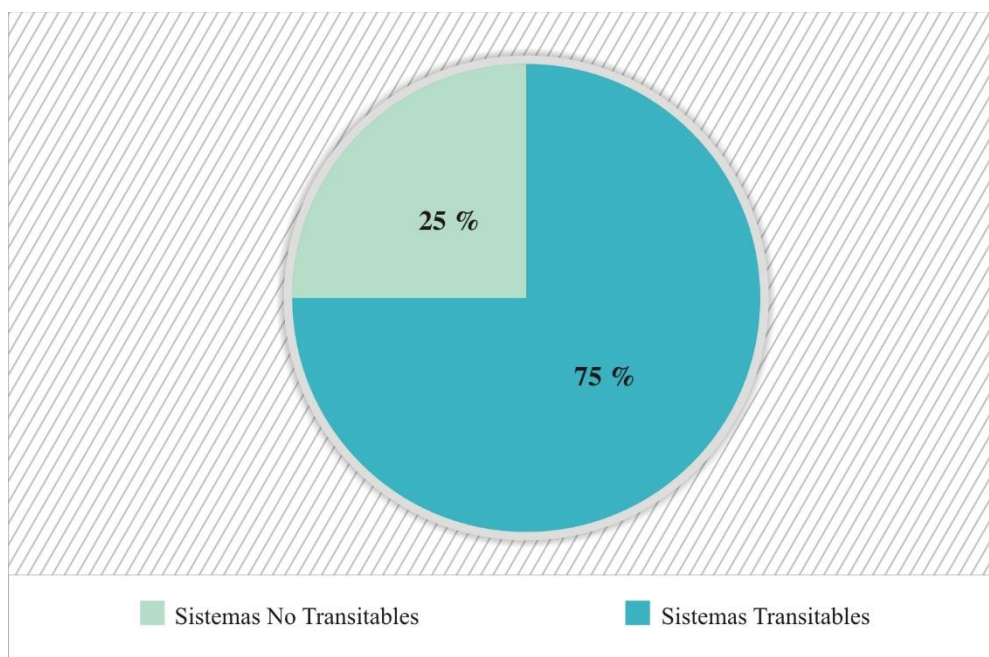


Figura 13. Distribución de porcentajes de techos verdes: techos transitables y no transitables

Además, fue posible conocer que el 55% de los techos pertenecen a edificios residenciales o de viviendas unifamiliares, mientras que el 45% restante corresponden a edificios comerciales (figura 14). En todos los casos relevados, el soporte de los sistemas de techos verdes fue en base a hormigón armado.

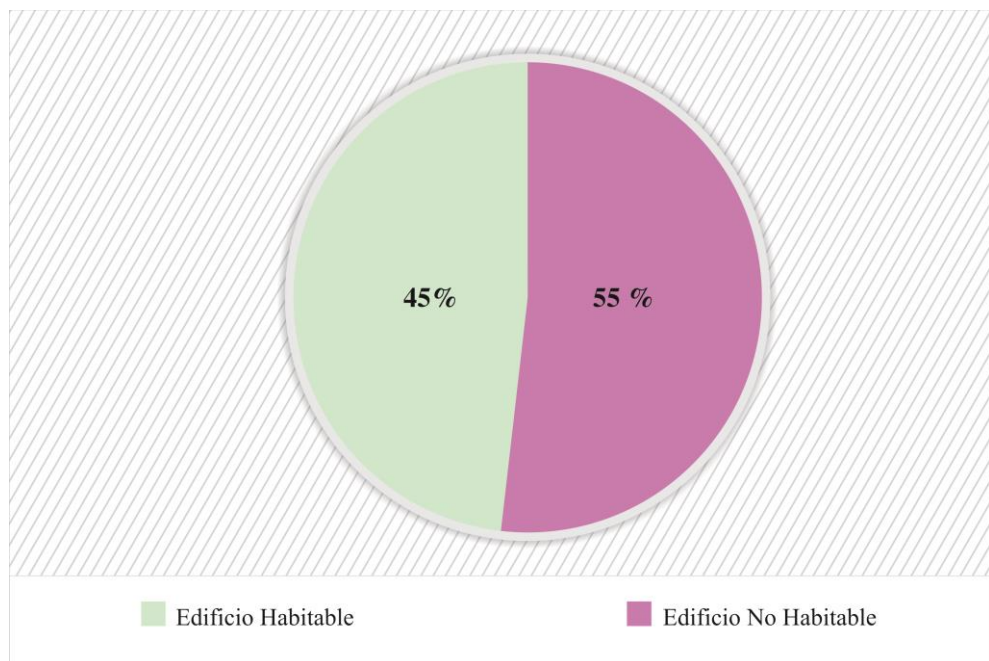


Figura 14. Distribución de porcentajes de la tipología de edificios con cubierta verde en la Ciudad de Córdoba: edificios habitables, edificios no habitables.

I.4. CONCLUSIONES

La ciudad de Córdoba cuenta con una pequeña superficie de techos naturados en la zona céntrica que, medidos en superficie de techo verde por kilómetro cuadrado de tejido urbano, equivale a la mitad de superficie de techos verdes por kilómetro cuadrado de ejido municipal de otras capitales con serios problemas de densificación y pérdida de calidad ambiental, como por ejemplo la ciudad de México DF. A pesar de ello, presenta el 86% de la superficie de techos vegetados en la zona de mayor efecto de isla de calor urbana (ICU), repartiéndose en forma equitativa entre los edificios públicos, comerciales o de residencia permanente.

Por otra parte, no existe una tendencia marcada entre los diseños de alto y bajo mantenimiento, es decir, no en todos los casos la incorporación de estos techos verdes aporta a la sustentabilidad edilicia, ya que la misma es el resultado de múltiples factores, uno de ellos es la demanda de mantenimiento de los mismos.

La diferencia es notoria al caracterizar el uso de los mismos, ya que un 75% de los techos son planos y transitables, lo cual señala un factor de elección de cubierta en el cual no sólo se contemplan las factibilidades y propiedades técnicas de la cubierta viva, sino también su capacidad de uso y disfrute por parte de los usuarios. La incorporación de cubiertas vivas, como se ha presentado hasta hoy en la Ciudad de Córdoba, considerándola sólo como aporte de espacios de ocio de alta calidad, puede ser una “trampa” contra la sustentabilidad urbana, debido al alto mantenimiento que necesitan.

Se observa una diferencia importante en la elección de las especies vegetales al momento de implantación, siendo dominante el uso de modelos monoespecíficos como césped, en relación al uso de mezclas de especies herbáceas. Es importante destacar que en ninguno de los casos se incluyeron especies nativas al momento de la implantación, lo cual indica una gran área de vacancia de conocimiento, desarrollo e incorporación de esta tecnología en un sistema de techos vivos urbanos en las condiciones ambientales de la ciudad de Córdoba.

CAPÍTULO II. Lineamientos de sustentabilidad para la incorporación de techos verdes en zonas urbanas semiáridas

II.1. INTRODUCCIÓN

El término sustentabilidad significa que la provisión de bienes y servicios ambientales, económicos y sociales a los seres humanos debe realizarse de manera que no reduzca en el tiempo, la cantidad y calidad de bienes y servicios factibles de ser provistos por la naturaleza, la economía y los sistemas sociales (Miranda González y Jiménez Sánchez, 2011). Objetivos que sólo pueden ser alcanzados a través de un mercado regulado y de un horizonte planteado a largo plazo con respecto a las políticas públicas urbanas. Esto deja clara la primera paradoja de la sustentabilidad, la presencia de una incompatibilidad o una dicotomía entre la realidad social urbana prevaleciente y una simple propuesta retórica, desprovista de la más mínima posibilidad de implementación (Miranda, 2006). El concepto de sustentabilidad se relaciona con cuatro planos: social (ética ambiental, equidad de la generación, equidad entre generaciones); económico (el valor económico del recurso natural, el principio de que el que contamina paga y el beneficiario compensa); ambiental (ley de población, teoría del predador-presa: flexibilidad, estabilidad, persistencia, especies claves); político o institucional (Miranda González y Jiménez Sánchez, 2011).

La Wildlife Conservation Society (WCS, 1980), también define la sustentabilidad como la administración racional de los recursos de la biósfera, a fin de que las necesidades humanas sean adecuadamente satisfechas y que las futuras generaciones hereden los recursos necesarios para su propia existencia. Aquí se puede percibir una diferencia entre sustentabilidad y sostenibilidad: mientras la sustentabilidad se podría lograr con acciones decididas desde afuera, la sostenibilidad requiere que las acciones se decidan adentro, en forma autónoma. El término de desarrollo sostenible se utilizó por primera vez en 1987 en “Nuestro Futuro Común” (*Our Common Future*) con amplia aceptación a partir del informe presentado por Gro Harlem Brundtland en conjunto a las demás naciones para la Organización de las Naciones Unidas (ONU), como un modo de desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones actuales, sin comprometer las futuras, para satisfacer sus propias necesidades. Aparecen en este punto el concepto de “necesidades”, la idea de “limitaciones” y de “largo plazo”; pero además el “cómo” se hará para satisfacerlas, a través de la tecnología y la organización social. Ahora bien, tanto el informe de Brundtland (1987) como la Agenda 21 (2003), dejan planteado que el crecimiento económico es una condición sin la cual no ocurre el desarrollo sustentable; ya que el crecimiento económico es una condición necesaria para vencer la pobreza que, a su vez, es considerada una de las causas principales de la degradación ambiental (Tetreault, 2004). Estos documentos reconocen que el consumo excesivo es una de las causas del deterioro ambiental y, en lugar de reducir el consumo como tal, recomiendan producción y consumo más eficientes; sumado a la

difusión e introducción en la sociedad de las tecnologías ecológicamente racionales y a la gestión de los recursos naturales. Es necesario, entonces, un desarrollo urbano sostenible para plantear y enfocarnos en los puntos cruciales desde la óptica de la sostenibilidad. Basados en la idea de funcionamiento del ecosistema urbano, Verdaguer (2000) define ocho criterios que contribuyen a mantener un equilibrio y condiciones de bienestar para el ser humano, a saber:

Primer criterio: relaciona la idea de bienestar humano con la de equidad y solidaridad, ya que, sin una distribución consciente de los recursos, entre contemporáneos y las generaciones futuras, las cargas a través del espacio y del tiempo hacen inevitable la pérdida de sostenibilidad.

Segundo criterio: tiene que ver con el carácter relacional del concepto, ya que todos los procesos y fenómenos están interrelacionados entre sí, de modo que la intervención de uno de ellos desencadena efectos en todos los demás.

Tercer criterio: implica la prevención o evitación, incorpora la idea de prudencia: ante la idea de la escasez de recursos energéticos y materiales no renovables, la forma más eficiente de utilizarlos es no hacer uso de ellos a menos que sea imprescindible.

Cuarto criterio: hace hincapié en la “desmaterialización” de los procesos, por lo que fomenta la sustitución de flujos materiales por flujos de información y pone énfasis en los procesos de difusión, coordinación y planificación que permitan un mejor aprovechamiento de los recursos materiales y energéticos en todos los órdenes.

Quinto criterio: contribuye a generar procesos que cierren ciclos de tal manera que los residuos de un determinado proceso, reducidos al mínimo, puedan ser subproductos y formar parte de la materia prima del mismo u otro proceso (procesos circulares del tipo mina-vertedero-mina).

Sexto criterio, el de la sinergia donde la multifuncionalidad, la versatilidad, la flexibilidad ofrecen mayores oportunidades de sostenibilidad que la rigidez a la hora de abordar problemas complejos.

Séptimo criterio: involucra la solución de los problemas desde la base, es decir desde la escala más próxima al origen, es decir, la subsidiariedad (“piensa globalmente, actúa localmente”).

Octavo criterio: es el de participación, indica que cuántos más implicados estén en la toma de decisiones los agentes y usuarios afectados por un determinado proceso, más conocimiento se acumulará y se evitarán posibles conflictos.

Los sistemas urbanos, es decir las ciudades, se pueden describir como nodos de transformación y consumo de energía y materiales (Torres Lima y Cedeño Valdiviezo, 2015).

Por esto, podemos decir que la ciudad es un sistema complejo y energéticamente costoso, donde el costo de un mal funcionamiento podría ser muy alto. Si bien las urbes son una red de consumidores de recursos, pueden ser vistas como el componente de la misma solución de sustentabilidad (Miranda Rosales y Jiménez Sánchez, 2011). Para estos autores, el concepto de sustentabilidad en el ámbito de las ciudades, tiene que ver con la satisfacción de las necesidades básicas de todos, los cuales deben tener la oportunidad de satisfacer sus aspiraciones a una vida mejor; donde los niveles de consumo tienen en cuenta, en todas las partes, la sostenibilidad a largo plazo; es decir, el desarrollo duradero no debe poner en peligro los sistemas naturales que sostienen la vida en la tierra: la atmósfera, las aguas, los suelos, los seres vivos. Esto significa que se deben satisfacer las necesidades del presente sin comprometer las de las generaciones futuras (Cremaschi et al., 2016).

Profundizando en esto, surge el concepto de resiliencia, como la capacidad que tienen los sistemas de adaptarse a los cambios del entorno, amortiguándolos, sin que causen impactos negativos y, de ser posible, poder obtener o movilizar recursos para generar mejores respuestas (Fernández Vela, 2014). La resiliencia abarca los mismos planos hablados para la sustentabilidad (plano social, económico, ambiental, infraestructura y político-institucional) como se puede observar en la figura 15. Al mismo tiempo, para Fernández Vela (2014), una ciudad es resiliente cuando está preparada para afrontar posibles riesgos naturales y absorbe y resuelve retos generando información enriquecida para el conjunto.

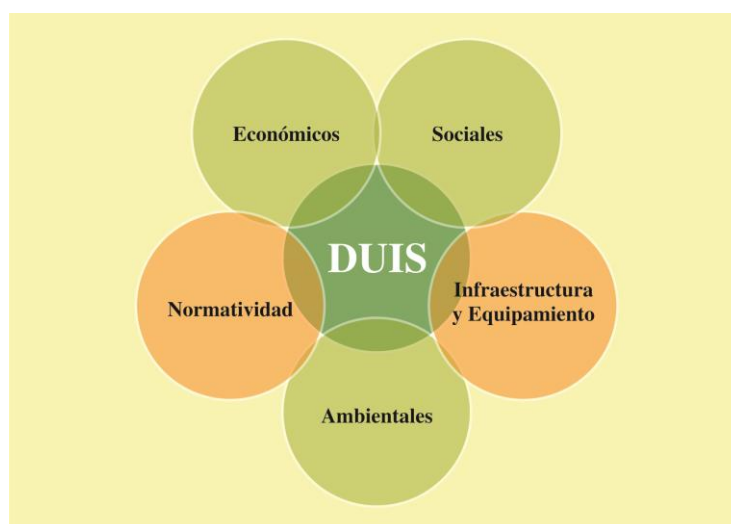


Figura 15. Esquema del desarrollo urbano integral sustentable (DUIS) (Barrera Alarcón, 2014).

El estilo de vida urbano como generador de demanda, se ha convertido en una fuente de irracionalidad en la relación sociedad-naturaleza, en este despliegue urbano-territorial. La racionalidad económica, orientada a la productividad, con una actitud más totalitaria y de poder frente a la sociedad y la naturaleza, se contrapone al concepto mismo del desarrollo sustentable y sus fines ambientales, sociales y económicos. La formación de una conciencia ambiental, la transformación democrática del estado que estimule la participación en la gestión de los recursos naturales y culturales, la construcción interdisciplinaria del saber ambiental, constituyen un conjunto de procesos sociales, que abarca más que la simple “ecologización” de la problemática socio-ambiental (Ávila, 2015). De esta forma, una propuesta integral de los indicadores de sustentabilidad debería diferenciar los provenientes de la oferta, de los que se evalúen como parte de la demanda social. Los indicadores evaluados desde la oferta social tendrían que considerar aspectos como: la superficie verde, los gastos de mantenimiento, las medidas de inventario biológico, el equipamiento; mientras que los orientados por el lado de la demanda social, serán aquellos basados en: valores monetarios de los servicios que prestan las áreas verdes (beneficios sociales), gustos recreativos, frecuencia de visitas a espacios verdes, preferencias por tipos de espacio, necesidades sociales y satisfacción de los visitantes, entre otros (Flores-Xolocotzi, 2012). Si se parte de la premisa que marca el desarrollo sustentable, de “satisfacer las necesidades futuras” según la Comisión Mundial para el Medio Ambiente (CMMA), dicha tarea dependerá del equilibrio logrado entre los intereses o necesidades sociales, económicas y ambientales al momento de tomar decisiones. Esta comisión propone como ejes generales: aumentar la confianza local, satisfacer necesidades básicas, aumentar la equidad entre el desarrollo económico, el desarrollo comunitario y el desarrollo ambiental para lograr un desarrollo integral, mediante la participación y definición de responsabilidades y el uso de las tecnologías apropiadas (Miranda Rosales y Jiménez Sánchez, 2011). El desafío para transitar hacia la sustentabilidad urbana implica: buscar la mitigación de los efectos negativos de la urbanización en el ambiente interno y entorno inmediato; incorporar la noción de capacidad de carga del ecosistema urbano, es decir, que las demandas de los habitantes puedan solventarse con un volumen de producción que el ecosistema inmediato pueda soportar y encarar a largo plazo y, por último, llegar a la reestructuración de los lazos entre la ciudad y el medio natural (Gerra Abud, 2008). Con esto, la verdadera dimensión de la sustentabilidad urbana se encuentra en esta interdependencia entre la ciudad y su entorno, de modo de fusionarse en un nuevo paradigma, hacia la generación de sinergias positivas entre ambos (ciudad y su entorno), en lugar de considerarlos como elementos contrapuestos (figura 16).

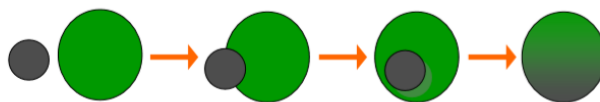


Figura 16. Esquema de la evolución hacia un nuevo paradigma, donde la ciudad y su entorno pasan de ser elementos contrapuestos a formar una sinergia positiva.

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, enuncia lineamientos de sustentabilidad urbana (2015) y los presenta en cuatro bloques diferenciados: el entorno natural y construido, la movilidad, la producción y el consumo y el entorno socio demográfico. Del balance entre lo natural y lo construido debe surgir una trama de tejido urbano y redes naturales que conserven los beneficios de los servicios eco-sistémicos en las distintas zonas urbanas. Dentro de los lineamientos de entorno, existen aquellos relacionados directamente con las cubiertas naturadas o techos verdes como la conciencia de bienes y servicios ambientales, la necesidad de infraestructura verde, la integración de la ciudad a su entorno natural, el balance entre espacios naturales y construidos, el desarrollo coherente en el territorio, la necesidad de ciudades compactas, la regeneración de zonas degradadas y deterioradas, la edificación sustentable y el patrimonio como elemento de identidad. Los servicios ecosistémicos urbanos provistos por ecofactores y ecoinfraestructura (como los techos verdes) forman el cuerpo de estrategias para mejorar la calidad de los ecosistemas urbanos (Torres Lima y Cedeño Valdiviezo, 2015). Es por ello que el objetivo de este capítulo es plantear lineamientos que favorezcan la sinergia entre la ciudad y su entorno, dentro de esta herramienta tecnológica en particular, los techos verdes.

II.2. MATERIALES Y MÉTODOS

A partir del diagnóstico de los techos verdes de la Ciudad de Córdoba (2016), se realizó un análisis de los factores que inciden directamente en la sustentabilidad del sistema local de cubiertas verdes, se definieron criterios y metas concretas a cumplir de acuerdo a los distintos criterios definidos. Por último, se identificaron los beneficios esperados, los cuales serán reflejados en los lineamientos (figura 17).



Figura 17. Esquema de la metodología de desarrollo de los lineamientos de sustentabilidad para las cubiertas verdes en la ciudad de Córdoba.

Se identificaron cinco factores que tienen directa participación en la sostenibilidad de los techos verdes de la ciudad de Córdoba, ellos son: interacción, biodiversidad, diseño, origen y apropiación. De cada uno de ellos se surge un criterio, una mirada, desde la cual se analiza el factor, definiendo cuál es su meta y cuales los beneficios esperados, una vez activado cada factor.

En la tabla 2 se resumen los aspectos más importantes para el análisis de los distintos factores identificados.

TABLA 2. Cuadro de síntesis de los cinco factores intervinientes en la sustentabilidad de los techos verdes locales, el criterio que lo define, las metas y los beneficios esperados.

Factor	Criterios	Metas	Beneficios
1. Interacción	Diseño de una Red de corredores formados por cubiertas verdes intercomunicadas, insertos en el tejido urbano.	Mayor superficie naturalizada	Crecimiento exponencial y sinérgico de los Servicios Ecosistémicos.
2. Biodiversidad	Mantenimiento de un alto grado de diversidad específica relacionada con la comunidad biótica circundante en los sistemas de techos verdes urbanos.	Relación positiva diversidad- resiliencia	Crecimiento exponencial y sinérgico de los Servicios Eco-sistémicos.
3. Diseño	El diseño del techo verde contempla la heterogeneidad ambiental, específica, temporal y evolutiva del sistema a implantar.	Optimización de rol de los techos verdes en la presentación de servicios eco-sistémicos	Sostenibilidad y funcionamiento de los techos verdes en el tiempo.
4. Origen	El sistema techo verde se construye a partir de materiales con reducida huella ecológica, bajos costos de mantenimiento y producción, tanto económicos, como ambientales.	Menor costo del sistema	Disminución del costo del sistema que se sostiene en el tiempo prestando servicios eco-sistémicos
5. Apropiación	Mediante técnicas participativas y de compromiso ciudadano los techos verdes se imponen como una herramienta necesaria para mejorar la calidad de vida en las ciudades.	Ciudadanos conscientes de los servicios prestados por los techos verdes	Adopción de la tecnología en la vida cotidiana.

II.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del análisis de los factores que intervienen en la sustentabilidad de los sistemas de cubiertas verdes, con influencia en la sostenibilidad de los espacios urbanos de zonas semiáridas se detallan los aspectos más importantes para cada factor:

II.3.1. Factor interacción

La modificación de los medios naturales por actividades antropogénicas a menudo resulta en paisajes aislados, cuyas decisiones de manejo no tienen en cuenta los impactos en el tiempo y en las diferentes escalas espaciales. Más allá del contexto o de la escala, el diseño de los techos verdes debería plantearse como desafío en los proyectos, para las distintas escalas territoriales (Sutton, 2015). Es crítico, para el éxito del funcionamiento de los techos verdes, esa contextualización en el tiempo y el espacio; ya que, si se aíslan temporal y/o espacialmente, darían un mosaico de pequeños microhábitats o ecotopos sin una regularidad constructiva, espacial o de forma (Whittaker et al., 1973). El objetivo de largo plazo de los techos verdes, como ecosistemas funcionando, debería ser evitar los cuellos de botella genéticos causados por el aislamiento, en ausencia de la conectividad e interrelación dinámica de los parches (Dunster y Coffman, 2015).

El desarrollo de un ecosistema y la incorporación de diversas especies en una azotea pueden ocurrir intencionalmente, es decir por diseño o por casualidad. Cuando se crea por diseño, un ecosistema de techo se establece enteramente bajo la guía de la mano humana. La elección y la profundidad del sustrato está relacionada a la estructura edilicia, a la comunidad vegetal a implantar y los componentes bióticos que definirán el desarrollo de la comunidad, su evolución y establecimiento. (Dunnett, 2015). La colonización espontánea por parte de propágulos (semillas), por ejemplo, es continua y ocurre todo el tiempo a través del viento, animales u otros seres humanos. Es por eso que, proyectar un ecosistema de techo verde situado dentro de un paisaje urbano y relacionarlo con la escala existente, proporciona un contexto que tiene implicancias tanto biológicas como sociopolíticas (Reid et al., 2005). Cuando se encuentran dos ecosistemas diferentes, se integran las distintas especies de cada comunidad en un ecotono y se forma un nuevo ecosistema que maximiza las interacciones entre ambos (Cadenasso et al., 2003).

En lugar de visualizar el paisaje como una jerarquía de escalas anidadas, los paisajes pueden definirse por su “grano o foco” y su extensión (Turner et al., 1989). Al hablar del “grano o foco” ese hace referencia al tamaño de las unidades de los individuos que puedan distinguirse

en las mediciones, y cuando aludimos a extensión, lo hacemos con respecto a los límites que enmarcan el área de interés. Los límites y los patrones que el ojo puede ver definen el “foco” y la extensión (Sutton, 2011); estos patrones ocurren en todas las escalas espaciales que afectan los patrones de observación (Turner et al., 1989). Con respecto al tipo de “grano”, el grano fino en el paisaje urbano, son, por ejemplo, losa, techos verdes individuales y, en cambio, varios techos verdes mapeados en un barrio o zona de la ciudad constituyen el grano grueso.

El reclutamiento, el establecimiento y la distribución de individuos en una población están influenciados por las condiciones ambientales, tanto espacial como temporalmente, los que posteriormente manifestarán variaciones en sus dinámicas. Es esencial entender que y los factores externos contribuyen a estas dinámicas. Los techos verdes bien diseñados tienen en cuenta las interacciones entre las especies y los ecosistemas circundantes (Dunster y Coffman, 2015). El objetivo sería crear ambientes de alta calidad con especies de reproducción exitosa que provean semillas o propágulos capaces de dispersarse a otros hábitats e incrementar el tamaño de las poblaciones (Keagy et al., 2005).

Es imprescindible considerar los techos verdes como parte de una red que se infiltra en el tejido urbano, con el objetivo de conservación, con todo lo que implica conservar un sistema vivo en la ciudad. Este conjunto de parches con preponderancia del componente vegetal que se interconectan e interrelacionan entre sí, deben ser manejados como una red de infraestructura verde urbana. La suma de los diferentes parches agrega hábitat y procesos ecológicos, lo que permitiría prestar de manera exponencial numerosos servicios eco-sistémicos. Así un techo verde no es sólo un techo con vegetación sino un sistema complejo en funcionamiento (Dvorak y Volder, 2010).

Del factor Interacción surgen:

Criterio1: diseño de una Red de corredores formados por cubiertas verdes intercomunicadas, insertos en el tejido urbano.

Meta: sumar superficie naturalizada, sumar hábitat y procesos ecológicos interrelacionados dinámicamente. Restaurar la Conectividad ecológica.

Beneficio: crecimiento exponencial y sinérgico de los servicios ecosistémicos.

II.3.2. Factor biodiversidad

En los hábitats con influencia antrópica, hay una gran variedad de especies vegetales y animales tanto nativas como exóticas que consiguen asentarse espontáneamente. En muchas ciudades la diversidad de especies en las tierras residuales es mayor que en el sistema natural original (Niemela, 1999). Esto se da naturalmente mediante los mecanismos de la sucesión ecológica, según los cuales un sistema tenderá a sumar componentes y llevar al máximo la diversidad para luego estabilizarse. Una de las bases del funcionamiento de un ecosistema en el proceso de sucesión ecológica, es el aumento de los componentes (poblaciones) de las comunidades que se interrelacionan dentro de él, en busca de un “equilibrio dinámico” donde, luego de un punto de máxima diversidad para las condiciones ambientales del sitio, ésta se estabiliza o bien decae en las fases más avanzadas, a medida que aumenta el tamaño de los individuos y se establece una población dominante (Odum et al., 1997). Lo que sucede es que en el ambiente urbano nunca llega a estabilizarse. La conectividad de los distintos parches está directamente relacionada con la biodiversidad (Niemela, 1999). El mantenimiento de esta biodiversidad urbana, el conocimiento de su valor intrínseco frente al desafío de desarrollo de las urbanizaciones, requiere de un mayor y mejor conocimiento ecológico integrado a la planificación urbana. Para que los techos verdes aporten a la biodiversidad urbana, deben estar conectados entre ellos (Holt, 2015), siendo ese uno de los mayores desafíos a llevar adelante por la planificación y diseño del paisaje urbano.

Para poder comprender los procesos y las relaciones que se están presentando en las ciudades es necesario conocer qué clase de sistema natural tiene la ciudad, qué servicios ecosistémicos requiere, y qué procesos existen en ese sistema natural urbano (invasión, degradación, etc.). La ecología, como ciencia aislada, no puede proporcionar toda la compleja información sobre la influencia y el grado de disturbio antrópico de las relaciones biológicas inter e intra-específicas en los ecosistemas urbanos; por lo tanto, un enfoque holístico es imprescindible para la integración de la ecología, en el proceso de planificación, diseñando gestiones para mantener la biodiversidad urbana. Como la perturbación o disturbio es uno de los temas clave en los paisajes urbanos, la relación entre la diversidad y la resiliencia es de particular importancia. Mantener un alto grado de diversidad en el sistema verde urbano es necesario para el bienestar urbano (Niemela, 1999). Las combinaciones de diferentes formas de vida se pueden usar para aumentar la diversidad funcional y, por lo tanto, la provisión de servicios eco-sistémicos en los techos verdes (Cadotte et al., 2011).

Así la biodiversidad de los techos va a estar limitada por el tipo de techo, su estructura y diseño, el tamaño del techo o parche, el patrón espacial de dicho parche en la matriz urbana y la capacidad de resiliencia del sistema (Francis y Lorimer, 2011). En el caso particular de las cubiertas naturadas, es más probable que una diversidad mayor de poblaciones proporcione múltiples y efectivos servicios eco-sistémicos de techo verde en comparación a una cubierta naturada de una especie (Nagase y Dunnet, 2010). Ahora bien, las especies que cubren el desafío de la supervivencia en espacios residuales urbanos, son las que toleran extremos de temperatura, suelos pobres y corrientes de aire. Esto limita mucho el espectro de especies que se pueden elegir para las condiciones ambientales de los techos verdes, además del género *Sedum*, lo cual atenta contra la biodiversidad, el pleno funcionamiento, la estabilidad y la persistencia en el tiempo del ecosistema (Cook- Patton y Bauerle, 2012; Vasl y Heimb, 2015).

La diversidad vegetal en las ciudades ayuda a mitigar varios de los problemas ambientales presentes en los conglomerados urbanos, restableciendo los servicios ecosistémicos perdidos durante el desarrollo de la misma ciudad (Lundholm, 2015). Es por ello que las interacciones ecológicas entre plantas, animales y ambiente abiótico afectan la capacidad de los techos verdes para proporcionar este tipo de servicios (eco-sistémicos) en entornos urbanos (Cook-Patton, y Bauerle, 2012). Es importante distinguir entre la capacidad de una especie para sobrevivir en un techo verde y su capacidad para proporcionar los servicios ecosistémicos buscados, o por lo menos requeridos, dentro del funcionamiento de la cubierta viva. Para muchos organismos, las condiciones urbanas no son favorables a su desarrollo debido al fraccionamiento de los parches, la pérdida de hábitat o los cambios en las características básicas del medio de cultivo, como el cambio de insolación o de la dinámica hídrica. Para lograr el aumento de esa biodiversidad, se incorporan plantas nativas capaces de sobrevivir en esas condiciones e interrelacionarse con el resto de los componentes del sistema/ parche/ techo y con los demás parches del mosaico verde urbano (Vasl y Heimb, 2015). Más aún, la conectividad entre estos parches se da mediante corredores biológicos diseñados principalmente con especies nativas que tengan relaciones de las especies entre sí y con los componentes físicos naturales del ambiente, evaluando de esta manera la tolerancia de esas especies nativas a estos espacios urbanos (Getter y Bradley Rowe, 2006). La escala de la introducción dependerá de los requerimientos mínimos necesarios para el desarrollo de las especies y el grado de tolerancia de esas especies al ambiente modificado (Niemela, 1999). Si bien se cumple la premisa de que la diversidad es más alta en hábitats ligeramente perturbados, esto es muy difícil de probar en paisajes urbanos (Connell, 1978). Las interacciones bióticas limitantes junto con otros procesos comunitarios que van surgiendo continuamente, predicen una disminución general en la diversidad a través del tiempo (Chesson,

2000). Sumado a eso, es importante seleccionar estratégicamente las especies y la diversidad de las mismas, para contribuir al funcionamiento general del techo verde, a su ecosistema y a su rendimiento en el tiempo (Vasly Heim, 2015). La introducción de especies nativas como parte necesaria de la sustentabilidad del sistema de techos verdes integrados al tejido urbano debe considerar aspectos ambientales, sociales, económicos, humanos y de sostenibilidad de políticas (McKinner, 2002; Phondani et al., 2016). En esta introducción es crucial la sustentabilidad del recurso a largo plazo, tomando en cuenta no solo el fin ornamental, sino su valor ecológico y la adecuada gestión de las mismas (Muhtaman et al., 2000). La principal limitante de esta introducción es la falta de disponibilidad de especies nativas con capacidad de incorporarse en techos verdes de bajo mantenimiento.

Del factor biodiversidad surgen:

Criterio 2: mantenimiento de un alto grado de diversidad específica relacionada con la comunidad biótica circundante en los sistemas de techos verdes urbanos.

Meta: encontrar una buena relación entre la diversidad y la resiliencia en las cubiertas verdes urbanas de bajo mantenimiento.

Beneficio: mayores servicios eco-sistémicos proporcionados por una mayor diversidad de especies nativas y exóticas adaptadas a techos verdes.

II.3.3. Factor diseño

Un buen diseño de techo verde incluye subsistemas (de infiltración y drenaje; de soporte y apoyo; biótico) que interactúan entre sí y son responsables de sus funciones. A esto se suma la sostenibilidad del techo verde, lo que significa estar preparado para funcionar en ambientes desfavorables y aun así, prestar los servicios ecosistémicos que se espera de ellos (Lundholm, 2015). Se suma a esos componentes de diseño, la sostenibilidad del sistema, lo que significa que debe estar preparado para funcionar en un entorno altamente modificado y proporcionar valiosos servicios al mismo tiempo (Lundholm, 2015).

Como se ha mencionado anteriormente, a través del factor diseño se pueden diferenciar los distintos tipos principales de techos verdes, los intensivos o jardines de techo y los extensivos o autosuficientes. En términos de sostenibilidad, los techos verdes extensivos son preferibles a los intensivos (Van Mechelen et al., 2014). Una tipología intermedia son los llamados semi-intensivos (Bianchini y Hewage, 2012), los cuales ofrecen control de aguas pluviales y aislamiento térmico sin requerir riego y mantenimiento sustancial, donde un sustrato poco profundo (<20 cm) los hace adecuados para su aplicación en nuevas construcciones y renovación de edificios antiguos (Oberndorfer et al., 2007).

El diseño del sustrato influye directamente sobre la selección de plantas y su composición dependerá de los materiales disponibles en el área donde se instalará el techo verde, por lo general, tienen una importante parte inorgánica, muchas veces inerte (Vasly Heim 2015). El agregado de material liviano e inerte (como por ejemplo la corteza de pino picada o la cáscara de maní) permite el drenaje y la aireación en el sustrato. Mezclar el agregado con contenido orgánico, como el compost, proporciona los nutrientes necesarios para mantener la vegetación. Las recomendaciones para la proporción de mezcla varían según el tipo de contenido agregado y el material orgánico elegido; sin embargo, la composición agregada generalmente varía del 80% al 100% en volumen (Beattie y Berghage, 2004). El uso de materiales reciclados y desechos de industrias como componente del sustrato es factible y permite disminuir la huella ecológica del mismo (Carson, 2012).

La selección del material vegetal estará relacionada directamente con el componente “sustrato” donde se desarrollen. Se debe tener en cuenta que, los sustratos de techos verdes jóvenes son inicialmente pobres en la biota clave del suelo, como las micorrizas. Cuando un techo verde se instala, ocurren interrelaciones entre los componentes (como la microbiota del sustrato), por eso los resultados presentados en los estudios de techo verde a largo plazo muestran que la diversidad inicial de plantas puede disminuir en los mismos a través del tiempo, aunque una mayor profundidad de sustrato puede desacelerar este proceso (Dunnett et al., 2008;

Olly et al., 2011; Rowe, et al., 2012). El diseño de la cubierta viva debe incorporar la característica ambiental propia del entorno modificado (sombras, profundidad de suelo, etc.), la heterogeneidad de los recursos o factores físicos como la lluvia y la temperatura y, en el caso de las plantas, contemplar los crecimientos vegetativos de las diferentes especies y su coexistencia a lo largo del tiempo. En la selección del material vegetal a proponer, la diversidad en cuanto a cantidad de especies, la elección de especies de diferentes formas y portes impacta en la heterogeneidad de la adquisición de recursos, en la formación de nichos complementarios dentro del sistema y en la respuesta o desempeño final de la cubierta (Tilman, 1982; Vasly Heimb, 2015).

Del factor Diseño surgen:

Criterio 3: el diseño del techo verde contempla la heterogeneidad ambiental, específica, temporal y evolutiva del sistema a implantar.

Meta: optimizar el papel de los techos verdes en la mitigación de la pérdida de servicios ecosistémicos en áreas urbanas.

Beneficio: el diseño acertado dará la sostenibilidad y funcionamiento del sistema para lograr la inserción sinérgica en la trama urbana.

II.3.4. Factor Origen

La huella ecológica es un indicador del impacto ambiental generado por la demanda de los recursos existentes en los ecosistemas del planeta, relacionándola con la capacidad ecológica de la tierra de regenerar esos recursos. Tener en cuenta la huella ecológica de los materiales que se utilizan para la construcción de los ecosistemas “artificializados” por el hombre como los techos verdes, es imprescindible para la sustentabilidad y depende directamente del diseño de los mismos, como se definió anteriormente (Blasi et al., 2016).

Todos los componentes del sistema, tanto los bióticos como los abióticos, seleccionados para la construcción del sistema deben ser evaluados desde sus costos de producción, económicos y ambientales. Esta mirada no puede faltar al momento de evaluar la sustentabilidad de los sistemas (Bianchini y Hewage, 2012). Los componentes más “notables” como el sustrato o la vegetación, son los primeros donde prestar atención respecto a su origen, de forma tal que su incorporación al sistema de cubierta verde no implique una pérdida de calidad del recurso natural asociado (en este caso flora o suelo nativo). Desde esta mirada, en todos los materiales que se seleccionan para esos y demás componentes, se alienta la

reutilización de materiales originados en sub-productos de otras actividades productivas como las industriales, agropecuarias, entre otras. Así se evita llegar a la contradicción de implantar una tecnología de alto costo ambiental, con sofisticados materiales de alta huella ecológica, de alto mantenimiento, contradiciendo a la sostenibilidad del sistema urbano (Wackernagel et al., 2006; Astiaso García, 2017).

Del factor Origen surgen:

Criterio 4: el sistema techo verde se construye a partir de materiales con reducida huella ecológica, bajos costos de mantenimiento y producción, tanto económicos, como ambientales.

Meta: implantar un sistema de cubierta verde de bajo costo ambiental, que sostenga a través del tiempo su funcionamiento y, por lo tanto, la producción de servicios ambientales.

Beneficio: un sistema vivo de bajo mantenimiento económico y ambiental, que se sostiene a través del tiempo brindando los servicios ecosistémicos esperados.

II.3.5. Factor Apropiación

El convencimiento de la comunidad de los beneficios colectivos, es otro factor fundamental en la sustentabilidad de los sistemas de techos verdes. Esto se podría llamar también “compromiso de la ciudadanía”, y está referido a la identificación e interiorización, por parte de los usuarios y beneficiarios, de los servicios ecosistémicos que ellos brindan.

La multitud de beneficios ecológicos y económicos, junto a otros de menor jerarquía como los beneficios psicológicos y estéticos, hacen que los techos verdes sean una herramienta importante para mejorar la calidad ambiental urbana (Van Mechelen et al., 2014). La reconciliación entre la actividad humana y la conservación de diversidad biológica en las áreas urbanas, es uno de los grandes desafíos del siglo XXI. Esta reconciliación entre la ciudad y el ambiente, debe tener un compromiso social de modificar el ambiente antropogénico, y fomentar zonas para la biodiversidad, la restauración y la conservación biológica. Para esto, es imprescindible aplicar técnicas que se desarrollen de "abajo hacia arriba" en la comunidad, que sólo se pueden realizar a través de la participación y el compromiso del ciudadano y su comunidad ante la necesidad de mejorar la biodiversidad urbana (Francis y Lorimer, 2011). La gestión colaborativa será un requisito fundamental para hacer posible la reconciliación entre el ciudadano, principal beneficiario de los servicios brindados por el sistema, y la naturaleza modificada para poder integrarse al paisaje urbano, como la incorporación de fauna asociada

como parte de los beneficios eco-sistémicos de la biodiversidad de los sistemas vivos (Stewart et al., 2004).

Este factor es el más complejo, ya que la cantidad de variables que influyen en la opinión pública son innumerables, pero es fundamental que sea parte de la necesidad de mejora de la calidad de vida urbana de los ciudadanos. El estado socioeconómico de la comunidad puede ser un indicador clave del potencial de reconciliación entre el habitante de la ciudad y el medio natural, ya que está correlacionado directamente con factores importantes como el fraccionamiento del suelo, la densidad de vivienda, la disposición a pagar por un entorno natural, entre otros (Francis y Lorimer, 2011). Hay un cambio de paradigma, un cambio cultural en la mirada de los techos verdes, una nueva mirada de su composición vegetal y la temporalidad o la dinámica de sustitución de especies en el mismo. Es importante que esta propuesta no sea sólo para unos pocos, sino una tecnología que apunta a mejorar la calidad de vida de la comunidad, de la ciudad, a partir de los beneficios ecosistémicos brindados por ella. La comunidad debe tomar conciencia de la importancia de sus decisiones y participación para alcanzar el desarrollo sustentable, donde las necesidades básicas a cubrir, deben incluir tanto las de carácter económico como ecológico. La participación de los tres ámbitos (social – económico- ambiental) es importante para lograr un desarrollo conjunto, tendiendo a la equidad como eje entre la coordinación y balance entre ellos (Miranda Rosales y Jiménez Sánchez, 2011).

Del factor Apropiación surgen:

Criterio 5: mediante técnicas participativas y de compromiso ciudadano, los techos verdes se imponen como una herramienta necesaria para mejorar la calidad de vida en las ciudades.

Meta: todos los ciudadanos son conscientes de los beneficios de los sistemas verdes urbanos.

Beneficios: La tecnología de techos verdes pasa a ser una componente importante de la calidad de vida urbana y deja de ser una propuesta extravagante para un sector “acomodado” de la sociedad.

II.3.6. Lineamientos de sustentabilidad para techos verdes en zonas semiáridas

De la identificación y análisis de los factores involucrados directamente en la sustentabilidad de los sistemas de techos verdes, mediante la definición de los criterios, las metas y los beneficios esperados, se proponen un conjunto de lineamientos o criterios que cubran las necesidades de las cubiertas verdes, en especial, los implicados en la sostenibilidad del sistema en zonas semiáridas.

Lineamiento 1. El diseño de la cubierta verde debería priorizar el bajo mantenimiento del sistema, entendiendo por bajo mantenimiento la cantidad de energía que se le agrega al sistema a través de distintos insumos externos (riego, mano de obra, fertilizantes, entre otros), para que el mismo se desarrolle y permanezca en funcionamiento (Factor 3 y 4).

Lineamiento 2. Se sugiere una profundidad del sistema de 15 a 25 cm para que se adapte a las condiciones locales semiáridas de la ciudad de Córdoba (factor 3).

Lineamiento 3. Los distintos componentes físicos del sistema, los materiales usados para la construcción del mismo, deben tener baja huella ecológica, es decir, que el costo ambiental de cada componente sea el mínimo posible. En el caso del sustrato debe estar compuesto con materiales disponibles en la zona, priorizando el uso de subproductos de otras actividades productivas (industrial, agropecuaria, etc.). En el caso de la vegetación nativa, las plantas deben ser cultivadas en viveros especializados y no extraídas del medio natural, por el alto impacto negativo de esta acción sobre el ecosistema natural (factor 4).

Lineamiento 4. El componente vegetal no debería ser mono-específico. La diversidad debe estar presente con un abanico de especies vegetales, nativas y exóticas de bajos requerimientos tanto hídricos como nutricionales, interrelacionadas entre sí, con su micro fauna asociada y el entorno natural inmediato, de forma dinámica, como parte de corredores biológicos intraurbanos (factor 2).

Lineamiento 5. La implementación de tecnologías como los techos verdes debería surgir del reconocimiento como herramienta para mejorar la calidad de vida urbana y no impuesta desde una gestión ajena a las necesidades de la comunidad (factor 5).

Lineamiento 6. La conectividad ecológica debería tenerse en cuenta en la gestión de políticas públicas, en toda acción de desarrollo urbano, en la ejecución y manejo de espacios urbanos, pensando en el potencial de las redes y su impacto en la reconciliación ecológica urbana. Cada obra que se sume al espacio urbano debería responder a pautas que consideren a

las formaciones vegetales, sean parques, plazas, jardines residenciales, arbolado público o privado, muros vegetados o techos verdes, como un todo (factor 1).

II.3.7. Propuesta

A partir de este proceso de diagnóstico, evaluación y análisis se propone para la ciudad de Córdoba un sistema semi extensivo, diverso, con una base vegetal de germoplasma nativo, de bajo costo de ambiental, de mantenimiento e instalación que tiene en cuenta los lineamientos de sustentabilidad planteados.

Se presenta una propuesta constructiva, generada con el equipo de trabajo de la Universidad Católica de Córdoba. La propuesta pretende garantizar tanto las prestaciones o beneficios (servicios eco-sistémicos) del sistema, así como la permanencia en el tiempo para condiciones ambientales de climas semiáridos, dando respuesta a los lineamientos planteados.

El sistema tiene en cuenta los tres componentes, el constructivo propiamente dicho (bateas o módulos), el sustrato o medio de cultivo y las especies vegetales. Los módulos o bateas son bandejas de polietileno encastrables, intercomunicadas entre sí mediante “ventanas” que ofician de canales de drenaje y encastrés, según el diseño de la superficie de techo a cubrir. En la figura 18 se muestra el esquema de las bateas registradas como modelo industrial en INPI.

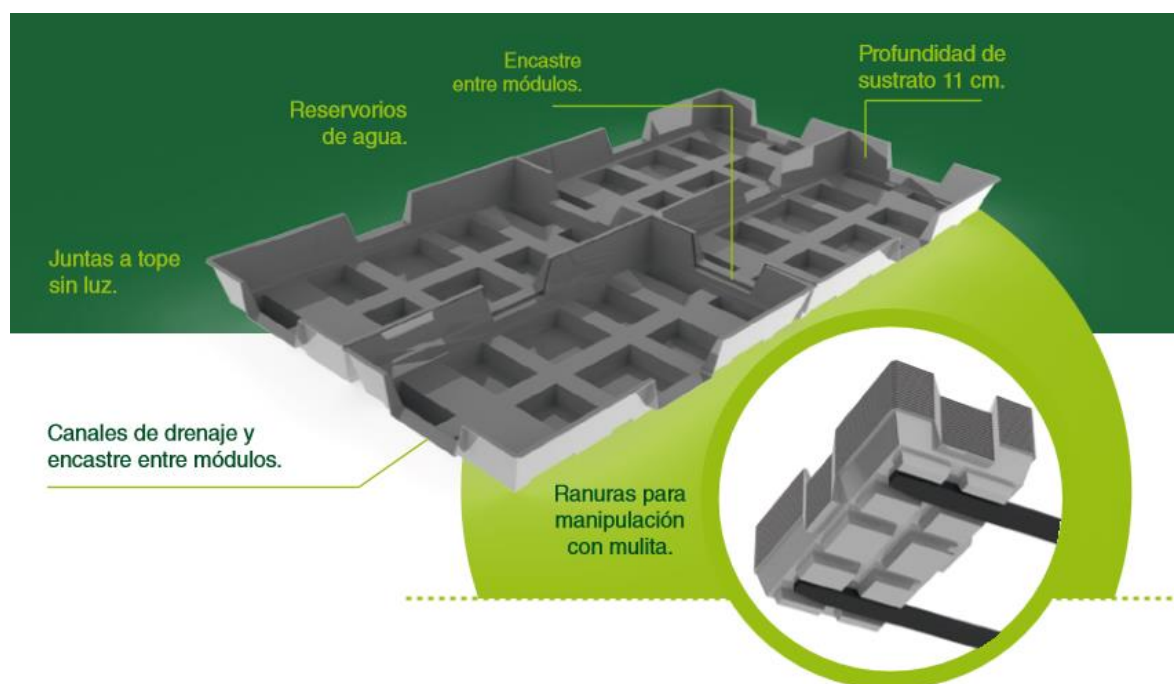


Figura 18. Esquema del sistema modular propuesto.

La propuesta de un sistema modular buscó plasticidad y practicidad al momento de la instalación o modificaciones futuras de la azotea donde va instalada, lo que facilita la construcción como la flexibilidad de su uso en el tiempo. Este sistema permite cambiar el entorno en espacios urbanos (como azoteas, balcones, solados, entre otros), que requieran bajo mantenimiento, contribuyendo a la sustentabilidad del espacio verde urbano. El sistema propuesto cumple con el Lineamiento 1 sobre diseño de bajo mantenimiento. Su diseño cuenta con reservorios de agua con el objeto de favorecer a la mitigación del déficit hídrico, acumulando agua residual que, de otra forma, se perdería por infiltración y drenaje, dejándola disponible para cuando el sistema vivo lo requiera. Otro aporte de su diseño es la facilidad de traslado e instalación. Este sistema es el resultado de integrar tecnologías del mejoramiento genético vegetal, manejo de sustratos y el diseño industrial.

Las bandejas propiamente dichas están fabricadas con polietileno de alta densidad reciclado (baja huella ecológica, Lineamiento 3), resistente a los rayos UV, de 1m de largo x 0,5m de ancho x 0,15 m de altura. Dichas bandejas se unen unas con otras mediante encastrés que forman canales de comunicación entre los módulos, convirtiéndolo en un sistema vivo integrado. Las bandejas de polietileno, son resistentes, encastrables, flexibles, con capacidad de apilarse unas sobre otras facilitando su transporte, almacenamiento y colocación en obra. La bandeja de última tecnología, se encuentra diseñada para sistemas de techos verdes de bajo mantenimiento, ya que cuenta con reservorios de agua donde queda capturada el agua que drena luego de una lluvia o riego ocasional, para ser liberada mediante capilaridad cuando el sistema lo necesite. Estas bandejas de 0,15 m de profundidad de sustrato, está dividida en dos sectores de funcionamiento: uno basal de 0,03 m de profundidad, compuesto íntegramente por perlita agrícola (reservorio de agua del sistema) y otro superior de 0,12 m de profundidad, separado del anterior por una membrana geotextil, con sustrato propiamente dicho, donde se desarrollan el sistema radicular del componente vegetal. Estas “trampas de agua” se encuentran bajo el nivel de drenaje del sustrato, y están rellenas con material inerte para la retención de agua, separadas del sustrato mediante una geomanta que homogeniza el contacto entre el sustrato y la zona de captación de agua. El diseño contempla ranuras para la manipulación con autoelevadores en obra. De esta forma, cumple con el Lineamiento 2, sobre profundidad de sustrato y adaptación a las condiciones de semiaridez.

El sistema prevé la utilización de un sustrato liviano (aproximadamente 120 kg/m² a capacidad de campo), compuesto por una mezcla de componentes orgánicos, componentes inertes y minerales, que le brindan una estructura liviana y nutricia para el desarrollo del estrato vegetal. El sustrato está compuesto por hasta un 25 % de tierra de descarte de obra, a la cual se

le agregan: un componente orgánico (compost de cama de stud, residuo de la actividad hípica), un componente estructurante (cascara de maní, subproducto de la industria alimenticia) y un componente mineral (sílico-aluminato expandido, perlita agrícola, de origen en las provincias de Catamarca, Jujuy, Mendoza, Río Negro, Chubut y Salta). Esta mezcla brinda una estructura liviana y nutricia para el desarrollo del estrato vegetal. De esta manera, se reduce la huella ecológica del sustrato, como propone el Lineamiento 3.

A partir de las evaluaciones realizadas con los híbridos del género *Glandularia*, se amplió la búsqueda de germoplasma nativo con el objeto de sumar nuevas especies vegetales a incorporar en mezcla en estas condiciones de cubiertas. El material vegetal de este sistema modular será una combinación de plantas nativas, sumadas a las no nativas (suculentas) de bajo mantenimiento. Esto mejoraría la riqueza paisajística, rusticidad, estabilidad y sustentabilidad al sistema de cubierta verde, así como la biodiversidad y la eficiencia en prestación de servicios eco-sistémicos. La proporción es aproximadamente un 40 % de las especies suculentas y un 60% de las especies nativas (herbáceas, gramíneas y semiarbusivas). Con esto, se da respuesta a los Lineamientos 1, 2, 3 y 4. Esta combinación favorece a la fauna asociada (visitantes florales) e interacciona de manera dinámica e integrada con el entorno asociado, lo que favorece el desarrollo del Lineamiento 6 (conectividad), como parte de corredores biológicos intraurbanos.

Con respecto al Lineamiento de sustentabilidad 5, una vez reconocidos los beneficios, la practicidad, la plasticidad y la posibilidad de acceso a este tipo de tecnología por parte de los usuarios, será adoptada en forma natural como herramienta para mejorar la calidad de vida urbana.

II.4. CONCLUSIÓN

El diseño de los techos verdes ecológicamente planificados e integrados, optimizan su desempeño en la mitigación de la pérdida de servicios eco-sistémicos en áreas urbanas. (Los techos verdes se usaron para incorporar vegetación a los edificios, sin importar el costo energético, en su implantación y mantenimiento, de forma intensiva. Escasamente se los piensa como un sistema o como parte de una red. A medida que pasa el tiempo, se los pone en valor como complementario al uso del suelo en las grandes urbes, como parte de “políticas conscientes”).

Los techos verdes se construían con fines estéticos y de aprovechamiento para espacios de ocio. Aún, la incorporación de cubiertas vivas solo como aporte de espacios exteriores de esparcimiento puede ser una gran trampa contra la sustentabilidad urbana. Es importante sostener el crecimiento de superficies de cubiertas vivas en tejido urbano, apostando a los modelos de bajo mantenimiento que aporten sostenibilidad de recursos y habitabilidad a una urbe en creciente densificación y dinamismo. La sustentabilidad del sistema surge de la superficie cubierta o de los metros cuadrados cubiertos por techos verdes, a partir de allí se puede analizar la distribución espacial de los mismos, que influirá directamente en la forma de vinculación entre ellos y, por lo tanto, en la dinámica y sostenibilidad del sistema propuesto.

Con un diagnóstico como el del primer relevamiento de techos verdes de Córdoba, luego del análisis de los factores implicados en la sustentabilidad y de la elaboración de los lineamientos necesarios para cubrir las necesidades de las cubiertas verdes en zonas semiáridas, se pudo visualizar que queda aún mucho por estudiar en cuanto a la mejor combinación de componentes para un sistema de cobertura viva ideal.

Se sugiere como lo más apropiado para este entorno de semiaridez, un sistema intermedio, semi-intensivo con bajo agregado de insumos externos (sobre todo el hídrico), con una profundidad de sustrato y un grupo de especies vegetales que permitan absorber y mitigar los impactos del déficit hídrico estacional de este tipo de clima. El sustrato, el medio base del sistema vivo, debe estar compuesto por materiales propios del lugar y de ser posible, ser parte del cierre del ciclo de materiales de otras actividades productivas. En la vegetación se hace claro que la diversidad es fundamental en el buen funcionamiento del sistema vivo. La diversidad debe estar presente dentro de cada uno de los sistemas de cubiertas verdes urbanas, e interrelacionadas entre ellas, dentro de la trama verde urbana, y con el entorno natural inmediato. Las especies vegetales nativas adaptadas a la cubierta naturalizada urbana es una necesidad fundamental en la sostenibilidad del sistema, les da la posibilidad de integrarse

mediante componentes comunes a la trama urbana interna y relacionarse con el entorno natural donde están insertas las ciudades.

Por último, uno de los puntos fundamentales en el establecimiento de cubiertas verdes en las ciudades, tiene que ver directamente con el convencimiento de los usuarios de que es la mejor opción posible para el rescate de gran parte de los servicios eco-sistémicos de los sistemas verdes urbanos, perdidos debido a la densificación de las ciudades. La adopción de este tipo de tecnologías es una respuesta a la necesidad reconocida de la comunidad de mejorar su calidad de vida, y lo hace mediante un balance entre lo construido y natural, recibiendo, a conciencia, los servicios eco-sistémicos que brindan los techos verdes. No debe ser impuesta desde “arriba” o sin el consenso social necesario de la comunidad. Solo de esta forma, la ciudad podrá dejar de verse como un problema ambiental y se podrá empezar a pensarla como parte de la solución. La conectividad biológica debería tenerse en cuenta como parte de las políticas públicas y la implementación de esta tecnología debería surgir como resultante del reconocimiento social y no de la imposición de sector gubernamental.

Por último, la industria de los techos verde (sector viverista, contratistas, paisajistas, etc.) no debe enfocarse en sistemas costosos y aislados, sino en promover una cubierta naturada de bajo costo y lograr incorporar grandes superficies cubiertas, interconectadas, formando una red de procesos eco-sistémicos dinámicos.

CAPÍTULO III. Caracterización y selección de híbridos de germoplasma nativo por su aptitud para ser introducidos en techos verdes: el caso de *Glandularia*

III.1. INTRODUCCIÓN

El nivel de techo o la azotea de un edificio implica condiciones ambientales extremas para las plantas en crecimiento, especialmente en climas con fuertes tensiones dadas por las limitantes físicas como la temperatura, la humedad o las precipitaciones. Esto determina la mayoría de los desafíos en el diseño de los techos verdes vegetados (TVV) y la selección del material vivo (Provenzano et al., 2010; Simmons, 2015). Estas condiciones ambientales son críticas para la supervivencia y el crecimiento de las plantas, especialmente en las regiones semiáridas (Farrell et al., 2012), donde las temperaturas son elevadas y las altas intensidades de luz y de velocidades del viento aumentan el riesgo de desecación de las plantas (Dunnett y Kingsbury, 2004; Arabi et al., 2015).

Los TVV requieren materiales vegetales que crezcan en un medio específico, contenido dentro de una serie de barreras al desarrollo radicular y membranas impermeables, que lo aíslan del edificio propiamente dicho. Como se ha mencionado anteriormente, según la profundidad de ese medio de crecimiento o sustrato, los TVV se clasifican en extensivos, semi-intensivos o intensivos, en referencia al diseño y características propias del sistema, y a la cantidad de gastos de mantenimiento esperado para sistemas diseñados con sustratos poco profundos, moderados y profundos, respectivamente (Sutton, 2015).

Un sistema de TVV, con una necesidad de reposición de energía para el mantenimiento intermedio (semi- intensivo), se caracteriza por una profundidad de sustrato de 10-20 cm. Los sustratos moderados o profundos permiten una gama más amplia de plantaciones (por ejemplo, pastos, plantas perennes herbáceas y arbustos), en comparación con un techo verde extensivo (profundidad del sustrato ≤ 10 cm), donde el elenco de especies factibles de implantar es más reducido. Las cubiertas verdes semi-intensivas, con la combinación de un limitado aporte estratégico de agua y plantas tolerantes a la sequía, sería la solución óptima para regiones con clima mediterráneo (por ejemplo, Atenas, Grecia; Kotsiris et al., 2012) o para regiones con otros tipos de clima, pero con déficit hídrico en la mayoría de las estaciones del año. Teniendo en cuenta esto, la selección de plantas dependerá de la estructura del edificio, de los valores estéticos y culturales, de los factores climáticos y ambientales (Arabi et al., 2015) y de las posibilidades de agregar agua a través de irrigación. Se suman las características morfológicas y fisiológicas de las plantas que les permiten sobrevivir en condiciones climáticas estresantes (Durhman et al., 2007; Oberndorfer et al. 2007; Wolf y Lundholm 2008; McIvor y Lundholm 2011; Kendal et al., 2012; Van Mechelen et al., 2014; Vasl y Heim 2016). Dentro de este grupo de características esperadas de la vegetación tenemos, por ejemplo: la cobertura del suelo alta y firme, el crecimiento compacto, un buen período de floración y, de ser posible, con flores

coloridas, follaje perenne y de distintas texturas, entre otros (Cáceres et al.2018; Imhof et al.2018a). Investigaciones de Dunnett y Kingsbury (2004); Snodgrass y Snodgrass (2006); MacIvor y Lundholm (2011), profundizan acerca de la vegetación adecuada para TVV, cubren especies potenciales; en particular Durhman et al. (2007); VanWoert et al., (2005), proponen especies utilizadas en ambientes de Europa y Norteamérica. Los estudios sobre el desempeño de la vegetación para los TVV en Argentina y la región en condiciones semiáridas aún son escasos (Cáceres et al., 2018), algunas de las cuales las realizaron los equipos de Asin (2015), Vera (2015) y Cepeda (2018). La selección de los mejores materiales híbridos para TVV en condiciones semiáridas es importante para aumentar las opciones disponibles de vegetación para el sector ornamental de techos verdes en Sudamérica y otros lugares (MacIvor y Lundholm 2011).

El género *Glandularia* (Verbenaceae) cuenta con 33 especies nativas de Argentina (Peralta y Múlgura, 2011), que comprende plantas erectas, semi-erectas y ramificadas con flores de colores variados, reunidas en racimos contraídos que se destacan por su tamaño, color y fragancia, con períodos prolongados de floración (Botta, 1993). Este género presenta especies con caracteres estéticos y ornamentales de interés (Stancanelli et al., 2010), que pueden sobrevivir en condiciones climáticas desfavorables. Henson y colaboradores (2006), trabajando con un híbrido entre *G. tenuisecta* y *G. tenera* ('Imaginación'), evaluaron su rendimiento ornamental y concluyeron que este género es tan tolerante a la sequía como *Petunia*. McKenney y colaboradores, (2007) recomiendan prestar atención a una variedad de *G. bipinnatifida* (Nutt.) var *Raider Amethyst*, con excelentes características de compactidad, gran ramificación y colores brillantes de las flores, para ser utilizada en paisajes conservadores de agua con plantaciones de bajo mantenimiento. Con estos antecedentes, a partir de 2006, nuestro equipo de trabajo ha desarrollado híbridos ornamentales de poblaciones nativas de *G. glandulifera*, *G. peruviana* y *G. platensis* a través de un programa de mejoramiento (Imhof, 2013) a partir de la colección de materiales del género *Glandularia* (Imhof, 2013; Imhof et al., 2018a, 2018b). Estas especies alógamas se usaron para desarrollar dicho programa de mejoramiento, cuyos primeros objetivos fueron la producción de materiales selectos para espacios urbanos de bajo mantenimiento, tanto en maceta, como en cantero (Imhof, 2013; Imhof et al., 2018b). Los mismos crecen bien en condiciones climáticas semiáridas, muestran hermosas flores y se consideraron buenos candidatos para ser probados en techos verdes semi-intensivos con bajos requisitos de mantenimiento.

III.2. OBJETIVOS

De los objetivos específicos enunciados en la introducción del presente trabajo en este capítulo se trabajó sobre los siguientes:

OBJETIVO ESPECÍFICO II:

- Caracterizar materiales selectos de especies nativas (en particular del género *Glandularia*) en proceso de mejoramiento por su aptitud como componente de sistemas de cubiertas verdes en zonas semiáridas.

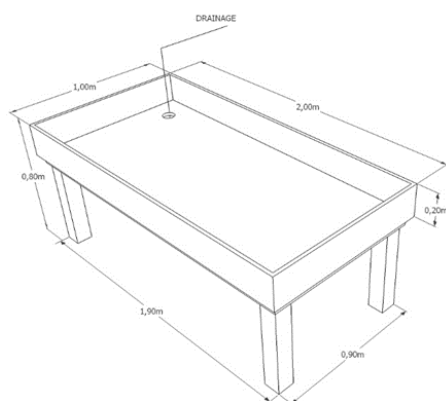
OBJETIVO ESPECÍFICO III:

- Seleccionar los materiales con mejor desempeño por su aptitud como componente de sistemas de cubiertas verdes en zonas semiáridas.

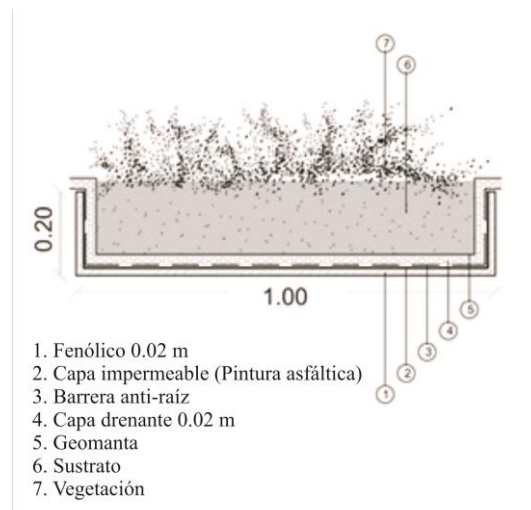
III.3. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el campo experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, campus de la Universidad Católica de Córdoba (31 ° 28 ' S, 64 ° 13 ' O), ubicado en la zona Sur de la ciudad de Córdoba durante los años 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018. Esa evaluación se llevó a cabo en tres ciclos de caracterización y selección de los materiales, comparando el desempeño en techo verde de 16 híbridos de *Glandularia* spp. Al mismo tiempo, se realizó un ensayo de permanencia en el tiempo con los materiales seleccionados, sin aportes de recursos externos como riego o nutrientes.

El ensayo de caracterización y selección de los híbridos se realizó en condiciones simuladas de techo verde semi-intensivo, en módulos de madera (fenólico) de 2 m de largo x 1 m de ancho y 0,20 m de profundidad, recubiertos en su interior con pintura asfáltica para mejorar el aislamiento e impermeabilización. Estos contenedores fueron cubiertos por una barrera anti-raíz y capas de drenaje (figura 15). El sustrato utilizado se preparó con las siguientes proporciones: 30% de tierra (es decir, suelo nativo), 30% de cáscaras de maní, 20% de compost de stud y 10% de perlita agrícola. Los parámetros medidos en el sustrato fueron: pH = 6,7 y conductividad eléctrica (sales solubles) = 0,98 deciSiemens (dS). Estos módulos simulados de techo verde (n = 4) se ubicaron adyacentes entre sí, con orientación Norte. Fueron instalados con una pendiente mínima del 2%, para permitir el drenaje del exceso de agua de lluvia.



a.



b.

Figura 19. Detalle constructivo módulos de ensayo: a) vista desde arriba con mediciones; b) vista en corte transversal (dimensiones y partes)

En los módulos experimentales se implantaron los diferentes materiales vegetales a caracterizar y seleccionar a partir de esquejes enraizados. Los del primer ciclo de selección fueron 16 híbridos de la primera generación filial (F1) de *Glandularia* spp. seleccionados durante el proceso de domesticación, cruzamientos controlados y selección de sus rasgos destacables de crecimiento y persistencia. El material original para el programa de mejoramiento fue recolectado previamente de poblaciones naturales de tres especies de *Glandularia* spp.: *Glandularia glandulifera*, *G. peruviana* y *G. platensis* de la provincia de Córdoba, Argentina (ver detalles en Imhof et al., 2018b). En la tabla 3 se presentan los híbridos con sus respectivos parentales (maternos y paternos).

TABLA 3. Códigos de los híbridos de *Glandularia* y sus parentales

Lote	Híbrido	Padres
1	UCC#113122009	<i>G. glandulifera</i> x <i>G. peruviana</i>
2	UCC#615122009	<i>G. glandulifera</i> x <i>G. peruviana</i>
3	UCC#815122009	<i>G. glandulifera</i> x <i>G. peruviana</i>
4	UCC#1520122009	<i>G. glandulifera</i> x <i>G. platensis</i>
5	UCC#2105012010	UCC20081107F4 x UCC20081107F3
6	UCC#2606102010	<i>G. glandulifera</i> x <i>G. peruviana</i>
7	UCC#2708122010	<i>G. glandulifera</i> x <i>G. peruviana</i>
8	UCC#3721122010	<i>G. peruviana</i> x <i>G. platensis</i>
9	UCC#4029122010	<i>G. glandulifera</i> x <i>G. peruviana</i>
10	UCC#4605012010	<i>G. peruviana</i> x <i>G. glandulifera</i>
11	UCC#1120122009	<i>G. glandulifera</i> x <i>G. peruviana</i>
12	UCC#2210012010	UCC20081031E1 x UCC20081107F3
13	UCC#5701112011	<i>G. glandulifera</i> x UCC#615122009
14	UCC#5922102011	<i>G. glandulifera</i> x UCC#615122009
15	UCC#6022102011	<i>G. glandulifera</i> x UCC#113122009
16	UCC#6525032012	UCC#113122009 x UCC#615122009

La propagación se realizó a través de esquejes de tallo de cada uno de los 16 híbridos y, una vez enraizados, se trasplantaron a los módulos, aproximadamente 45 días después de la fecha de corte. La densidad de plantación inicial fue de cinco individuos de cada uno de los 16 híbridos por módulo ($n = 4$). Los materiales se plantaron en hileras con una separación entre filas de 10 cm. El riego de implantación fue manual, durante los primeros 30 días, para asegurar las necesidades iniciales y, por consiguiente, la supervivencia de las plantas. Después del período de establecimiento de la planta, los módulos recibieron sólo el agua de las precipitaciones locales, y no fueron fertilizados.

III.3.1. Primer ciclo de selección (2014): se eligieron dos épocas de plantación, otoño y primavera, para poder comparar la respuesta de los materiales en el comienzo de su crecimiento en ambas condiciones ambientales, la época invernal y la estival. Se suma a esta comparación, la observación ante la sequía, dado que posterior al riego de implantación en el período invernal, no ocurren precipitaciones, lo que deja a la planta sin agua durante el período de crecimiento y heladas invernales. En la época estival, ocurren precipitaciones aleatorias en frecuencia e intensidad, lo que deja en observación la respuesta de los materiales entre los períodos de precipitaciones, en particular cuando entre ellos ocurren temperaturas extremas y bajo porcentaje de humedad relativa ambiente. La fecha de plantación de otoño fue el 23 de abril de 2014 y, la de primavera, fue el 7 de octubre de 2014. Ese año no hubo precipitaciones durante el otoño, por lo que las plantas crecieron sin riego durante el período posterior al establecimiento. En la plantación de primavera ocurrieron varios eventos de lluvia, con períodos de altas temperaturas durante esos intervalos de escasez (una temperatura máxima superior a los 35°C). Ese período particular se encontró entre el 25 de noviembre y el 10 de diciembre del 2014.

III.3.2. Segundo ciclo de selección (otoño de 2015): la fecha de plantación fue el 23 de marzo; se plantaron esquejes enraizados de los híbridos seleccionados del primer ciclo, los cinco híbridos seleccionados por mejor índice de aptitud para techo verde (IATV), y un sexto híbrido seleccionado por su supervivencia, el lote número 5, que luego del período estival, sin ningún agregado de mantenimiento (riego o desmalezado), fue el único sobreviviente en las bateas de ensayo, lo cual lo hizo merecedor de participar en otro ciclo de selección. Estos materiales fueron expuestos a períodos de sequía y temperaturas bajo cero (heladas). El ensayo duró hasta la primavera (fines de septiembre).

III.3.3. Tercer ciclo de selección (primavera de 2015): la fecha de plantación fue el 20 de octubre, con esquejes enraizados con las mismas características del ensayo anterior de los tres (3) híbridos seleccionados por mejor índice de aptitud para techo verde (IATV), los lotes 5, 10 y 11. Se incorporó al ensayo un cuarto material de *Glandularia*, donado por la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo (la ciudad de Mendoza presenta menos de la mitad de precipitaciones anuales que la ciudad de Córdoba), con probada tolerancia condiciones ambientales extremas en cantero, sin ser probado en condiciones de techo verde, por lo que se incorpora al ensayo comparativo. Al material proveniente de Mendoza se lo denomina lote 17 (M). El tercer ciclo de selección se extendió hasta marzo de 2016, con períodos de altas temperaturas (cerca de los 35°C) y sequía, como el ocurrido entre el 10 y el 25 de enero del 2016.

III.3.4. Variables de evaluación: Las variables elegidas para la evaluación de desempeño fueron: el área de cobertura (Ca) medida en porcentaje, la dinámica de la cobertura en el tiempo, la supervivencia (S) medida en porcentaje, estado sanitario (Es) y el índice de aptitud para techos verdes (IATV).

El área de cobertura de la planta (Ca; %) se determinó a partir del análisis de las imágenes de fotografías digitales registradas con una frecuencia mensual de cada parcela durante el tiempo destinado al ciclo de selección. Para estimar el área de cobertura verde, se tomaron fotografías desde arriba en forma perpendicular al módulo, colocando la cámara en un plano horizontal (1 m por encima de la parcela) en relación con la superficie del mismo. Se tomaron fotos dentro del mismo período u horas del día (entre las 17 y 19 horas) para evitar sombras y mantener un contraste constante. El área del módulo cubierto por cada material vegetal (la cobertura verde en porcentaje) se estimó utilizando el software de proceso de imagen: ImageJ 1.51j8 (National Institutes of Health, EE. UU.). El área de cobertura verde se calculó sobre la base de píxeles de la fotografía. Para la dinámica de la cobertura se tomaron los valores mínimo y máximo del porcentaje de cobertura para cada ciclo de selección y se calculó la diferencia entre ambos. Luego se realizó un diagrama de perfil multivariado, donde se muestran los valores de cobertura verde en cada fecha a lo largo del tiempo. Se realizó un diagrama para cada uno de los ciclos de selección, utilizando los valores del área de cobertura de cada material utilizando el programa Infostat (Di Rienzo et al., 2011). En el caso particular del primer ciclo de selección (2014), se realizó un diagrama para cada período de crecimiento. Para una mejor visualización del comportamiento, se agruparon los híbridos en grupos (de 3 a 5 híbridos), de acuerdo a un desempeño común de la cobertura.

La supervivencia (S, %) se definió como el porcentaje de plantas vivas en el momento de las mediciones, con respecto a la población inicial. El estado sanitario (Es) se determinó visualmente por la apariencia de las plantas, siguiendo la metodología propuesta por Monterusso et al. (2005). La metodología sugiere una escala de estados de apariencia de la planta en el rango de 1 a 5 siendo: 1 = plantas muertas; 2 = plantas con marcados síntomas de marchitamiento, dorado y necrótico en hojas y ramas; 3 = plantas con muy bajos síntomas de marchitez; 4 = plantas sanas; 5 = plantas que alcanzan la plenitud de crecimiento y floración. Las fotografías que ejemplifican cada puntaje de la escala del Esy se presentan en la figura 20.

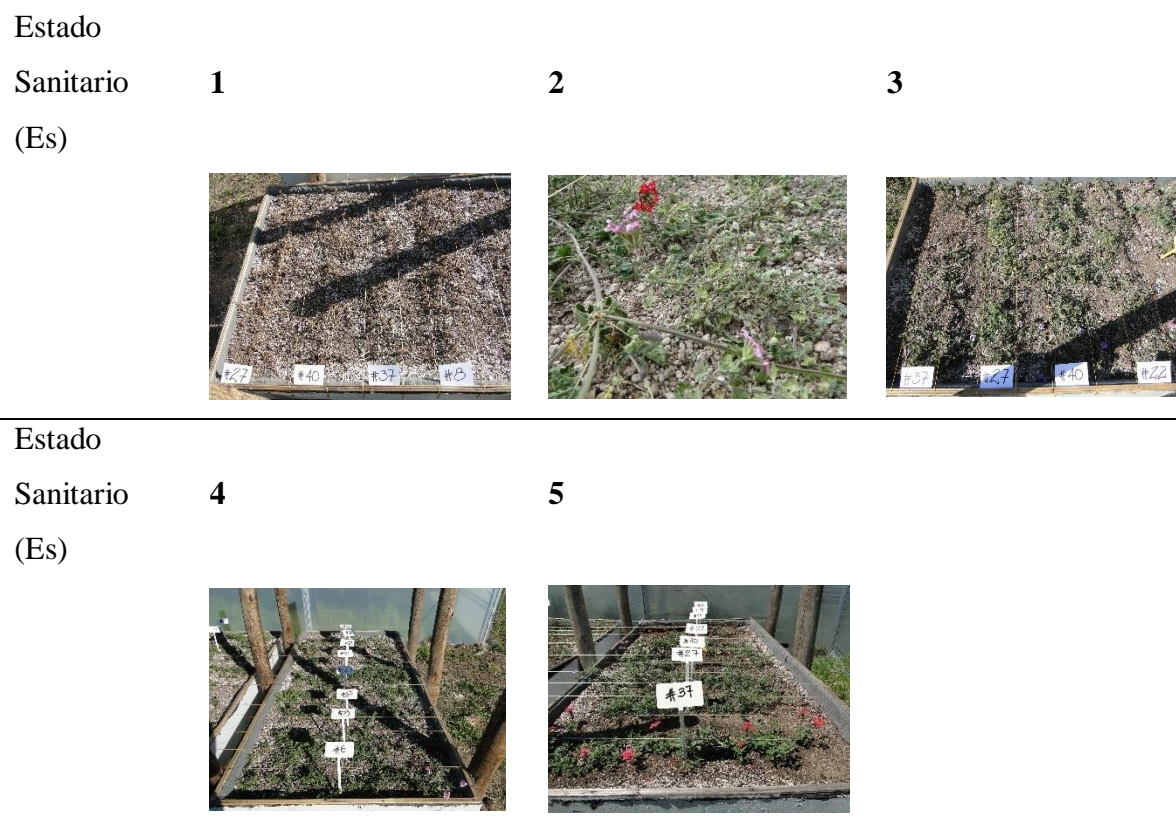


Figura 20. Imagen de los materiales evaluados que representan cada uno de los estados sanitarios en el rango de 1 a 5.

La selección fenotípica es el método clásico de selección donde los individuos superiores son seleccionados sobre la observación de valores fenotípicos de manera simple (variable por variable) o integrada (a través de un índice). Se ha agregado como herramienta de selección, además de los valores de las variables individuales, el índice de aptitud y/o desempeño para techos verdes (IATV). Con el índice se pretende lograr esa ganancia genética sin ignorar la diversidad genética (Anderson et al, 1998).

Al construir el índice es posible darle a cada variable el peso apropiado, y aumentar en la eficiencia de la selección de un carácter; siendo el propósito principal de esta herramienta, lograr el máximo progreso genético (Hazel y Lush ,1943). Los índices de selección han sido propuestos para optimizar simultáneamente el mejoramiento en varios caracteres (Berardo, 1991), y es fundamental que sean dinámicos (no estáticos) (Lin ,1978). Estos índices de selección tienen sus limitantes, como la aparición del error muestral, o sumar subjetividad al otorgarle un peso (económico) a cada variable del índice, y ese peso o importancia puede variar en el tiempo (Lin, 1978). También es importante conocer la heredabilidad del índice, ya que cuando la heredabilidad es cero, se convierte en una limitante para el índice elegido (Lin, 1978).

El IATV es un índice de selección adaptado de Chamas y Matthes (2000). Ellos establecieron un método y criterio sistemático para evaluar el potencial ornamental de especies nativas. El análisis de la potencialidad de estas especies estuvo basado en caracteres fenotípicos y morfológicos, permitiendo a Chamas y Matthes (2000) definir un índice numérico (Índice compuesto para especies tropicales con potencial ornamental) que les permitió categorizar las especies según su potencialidad. Al mismo tiempo, Leal y Biondi (2006) evaluaron el potencial ornamental de especies nativas a través de caracteres ecofisiológicos y estéticos, pero no integraron las variables en un índice, sino que las discriminaron de manera individual (variable por variable). Con base en esa experiencia, se desarrolló el IATV para organizar y simplificar los datos generados durante los ensayos, así como generar una herramienta para estimar la respuesta de los distintos genotipos de *Glandularia spp* en condiciones similares de cultivo en contenedores de simulación de techos verdes semi-intensivo.

Con el conjunto de datos evaluados a través de las diferentes variables de respuesta, se calculó el índice de aptitud para techo verde (IATV) de la siguiente manera:

$$\text{IATV} = (\text{Ca} \times 0.33) + (\text{S} \times 0.33) + (\text{Es} \times 0.33)$$

La suma de los puntajes de las variables del IATV tiene un valor máximo de 1.0. Las tres variables elegidas tienen la misma importancia, en la fórmula, para definir el potencial de cada híbrido por su desempeño en el techo verde semi-intensivo. Esto se debe a que cualquier cambio en una de las variables incide directamente en los servicios eco sistémicos brindados por el sistema, las tres variables tienen el mismo peso, 1/3 o 0.33. Para esto los valores reales obtenidos de cada una de las variables se transforman en valores nominales para incluirse en el índice. En el caso del área de cobertura (Ca, %) se transformaron en valores obtenidos en términos porcentuales en las siguientes categorías: cobertura excelente cuando la superficie cubierta superó el 60% del total al valor nominal 1 (máximo valor); muy buena cobertura, cuando la misma se encontró entre 45 y 59% del total y equivalió a un valor de 0,7; buena cobertura cuando está entre 30 y 44% y equivalió a un valor de 0,4; y una mala cobertura cuando los valores fueron menores al 30% del total y equivalieron a 0. Para la supervivencia (S), los resultados se transforman en valores nominales, mediante empleo de la siguiente escala: excelente supervivencia (100%) equivale al valor máximo de 1; una muy buena supervivencia, entre 80 y 99% de plantas vivas, equivale al valor de 0,7; una buena supervivencia, entre 60 y 79% de plantas vivas, será un valor de 0,4y, en el caso de una pobre supervivencia, con menos del 60% de plantas vivas, el valor será de 0. El límite de supervivencia para obtener un valor distinto de 0 es alto, es decir mayor a 60%, esto se debe a que se busca materiales de desempeño confiable, que presten los servicios funcionales para los techos verdes en condiciones

semiáridas, para lo cual los materiales deben estar vivos en la mayor proporción de la superficie posible. Las cinco categorías del estado sanitario (Es) se transformaron en valores nominales de la siguiente manera: el estado 1, correspondiente a plantas muertas equivale a 0; el estado 2 de plantas con marcados síntomas de marchitamiento, corresponde un valor de 0,25; un estado 3 de plantas con pocos síntomas de marchitez, un valor de 0,5; un estado 4, correspondiente a plantas sanas, un valor de 0,75 y para el estado 5 con plantas en crecimiento y floración, el valor máximo de 1.

Se calculó el IATV en los distintos ciclos de selección para comparar el rendimiento del conjunto de materiales vegetales. En el caso del primer ciclo de selección se promediaron los datos obtenidos en cada estación de crecimiento para obtener el índice de su rendimiento general. Con los materiales seleccionados luego de los tres ciclos de selección (n=3, lotes 5,10 y 11), se realizó un ensayo de permanencia en el tiempo de 24 meses a partir de octubre 2016, en las mismas condiciones simuladas de techo verde-semi intensivo, descriptas anteriormente. Se implantaron esquejes enraizados a una densidad inicial equivalente al 10% de la superficie correspondiente cada uno y luego de un riego de implantación, no recibieron más algún tipo de mantenimiento (agregado de riego, fertilizantes o desmalezado). En este caso solo se tomó la variable supervivencia, como planta viva o no viva.

III.4. RESULTADOS

III.4.1. PRIMER CICLO DE SELECCIÓN

II.4.1.1. Supervivencia y estado sanitario

Se presentan los valores de supervivencia (S) y estado sanitario (Es) de cada material vegetal para los dos períodos de crecimiento (otoño-invierno y primavera-verano) en la tabla 3. La mitad de los mismos (lotes 1, 4, 10, 11, 13, 14, 15 y 16) mostraron un 100 % de supervivencia y muy buenas puntuaciones de estado sanitario durante la temporada otoño-invierno. Sin embargo, la supervivencia de estos materiales bajó a valores entre un 50 y 60% en la temporada primavera-verano, con una merma similar en los valores de estado sanitario (valores intermedios). La otra mitad de los materiales evaluados (lotes 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 y 12) mostraron un 80 a un 90% de supervivencia al final de la temporada otoño-invierno, y la mayoría de ellos mantuvieron estos valores hasta el final del verano. Considerando estas dos variables de respuesta, la mayoría de los híbridos pueden seleccionarse para plantaciones de otoño-invierno; en tanto aquellos del segundo grupo, como los lotes 3, 5, 6, 8 y 9, se pueden seleccionar para su empleo durante todo el año. En esta evaluación quedan excluidos materiales como los lotes 2, 7 y 12 que mostraron estados sanitarios (Es) muy bajos al final del verano.

TABLA 4. Valores medios de supervivencia (S) y estado sanitario (Es) de cada material vegetal para los dos períodos de crecimiento (otoño-invierno y primavera-verano).

Lote	Híbrido	S1	S2	Es3	Es4
1	UCC#113122009	100	60	5	3
2	UCC#615122009	78	70	4	3
3	UCC#815122009	95	75	4	4
4	UCC#1520122009	100	50	4	3
5	UCC#2105012010	83	78	4	3
6	UCC#2606102010	85	78	4	3
7	UCC#2708122010	88	73	4	3
8	UCC#3721122010	85	70	4	3
9	UCC#4029122010	90	83	4	3
10	UCC#4605012010	100	60	4	3
11	UCC#1120122009	100	58	5	3
12	UCC#2210012010	83	68	4	3
13	UCC#5701112011	100	55	5	3
14	UCC#5922102011	100	60	4	3
15	UCC#6022102011	100	55	4	3
16	UCC#6525032012	100	55	5	3

Referencia: Supervivencia S1: Valor promedio de supervivencia (porcentaje, %) para la temporada otoño-invierno. S2: Valor promedio de supervivencia (porcentaje, %) para la temporada primavera-verano. Estado de salud Es3: Valor promedio del estado de salud para la temporada otoño-invierno. Es4: Valor promedio del estado de salud para la temporada primavera-verano.

III.4.1.2. Cobertura

El valor mínimo para el área de cobertura en la mayoría de los casos coincidió con el período de plantación, en tanto el valor máximo no coincidió necesariamente con la fecha de finalización del ensayo. La tabla 5 presenta los valores de cobertura mínima y máxima para cada material vegetal durante los períodos de crecimiento otoño-invierno y primavera-verano, así como los cambios en el área de cobertura durante estos períodos de estudio. Todos los materiales vegetales experimentaron aumento en su área de cobertura durante ambos períodos de crecimiento (excepto el lote 4). Los lotes 1, 2, 10, 16 y 11 exhibieron los mayores aumentos entre los valores máximo y mínimo de cobertura durante el período otoño-invierno. Los lotes 9, 1, 3 y 6, los de mejor desempeño, aumentaron su área de cobertura a más del 40% de la superficie de la parcela de ensayo, y sobrevivieron a períodos de sequía de por lo menos 10 días (sin riego) durante el período de crecimiento primavera-verano (tabla 5).

TABLA 5. Valores de Cobertura mínima y máxima de los genotipos estudiados expresados en porcentaje. Rango de crecimiento (diferencia entre cobertura máxima y mínima) durante dos períodos de estudio: otoño-invierno y primavera- verano.

Lote	Híbrido	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	UCC#113122009	20	55	35	10	70	60
2	UCC#615122009	17	50	33	18	35	17
3	UCC#815122009	41	50	9	6	60	54
4	UCC#1520122009	45	45	0	20	15	(-5)
5	UCC#2105012010	32	40	8	16	35	19
6	UCC#2606102010	16	43	27	5	48	43
7	UCC#2708122010	30	34	4	5	38	33
8	UCC#3721122010	30	40	10	20	50	30
9	UCC#4029122010	40	50	10	10	72	62
10	UCC#4605012010	30	60	30	35	59	24
11	UCC#1120122009	30	59	29	30	50	20
12	UCC#2210012010	15	23	8	10	36	26
13	UCC#5701112011	30	40	10	12	40	28
14	UCC#5922102011	35	48	13	27	50	23
15	UCC#6022102011	22	50	28	16	41	25
16	UCC#6525032012	40	60	30	10	40	30

Referencia: Para la temporada otoño-invierno: (1) Cobertura mínima; (2) Cobertura máxima (3) Rango de crecimiento (diferencia entre el valor final y el valor inicial); Para la temporada primavera-verano: (4) Cobertura mínima; (5) Cobertura máxima; (6) Rango de crecimiento (diferencia entre el valor final y el valor inicial)

III.4.1.3. Dinámica de la cobertura

Con los valores de cobertura máxima y mínima, así como con la diferencia entre ambos (tabla 5), se pudo definir grupos de materiales según el comportamiento (desempeño en los valores de cobertura) en ambos períodos de plantación, otoño-invierno y primavera- verano. El agrupamiento para cada estación, se puede observar en la tabla 6.

TABLA 6. Diferentes grupos de materiales híbridos de *Glandularia* agrupados según las principales tendencias en su dinámica de cobertura en cada uno de los períodos de plantación; (otoño-invierno y primavera-verano).

Otoño - Invierno		Primavera - Verano	
Grupo	Lote	Grupo	Lote
1	1,6 y 13	1	2, 3, 7, 8 y 9
2	5, 8, 10, 11 y 16	2	1, 10, 11, 14 y 16
3	9, 14 y 15	3	4, 5 y 12
4	2, 3, 4, 7 y 12	4	6, 13 y 15

Referencia: Número de lote y genotipo correspondiente: 1 (UCC#113122009); 2 (UCC#615122009); 3 (UCC#815122009); 4 (UCC#1520122009); 5 (UCC#2105012010); 6 (UCC#2606102010); 7 (UCC#2708122010); 8 (UCC#3721122010); 9 (UCC#4029122010); 10 (UCC#4605012010); 11 (UCC#1120122009); 12 (UCC#2210012010); 13 (UCC#5701112011); 14 (UCC#5922102011); 15 (UCC#6022102011) y 16 (UCC#6525032012).

Con estos grupos, se realizaron los diagramas de perfiles multivariados presentados en las figuras 21 y 22. En la temporada otoño-invierno, se observó un aumento continuo en el área de cobertura en todos los materiales del grupo 1. Los materiales del grupo 2 mostraron una marcada disminución en su cobertura al final del otoño y cierta recuperación durante el invierno. Los materiales del grupo 3 exhibieron un rendimiento razonable durante el otoño, pero una disminución notable en su cobertura durante el invierno. En el grupo 4, la disminución del área de cobertura fue significativa para todos los materiales durante el invierno, con un bajo desempeño para todos estos lotes (figura 21).

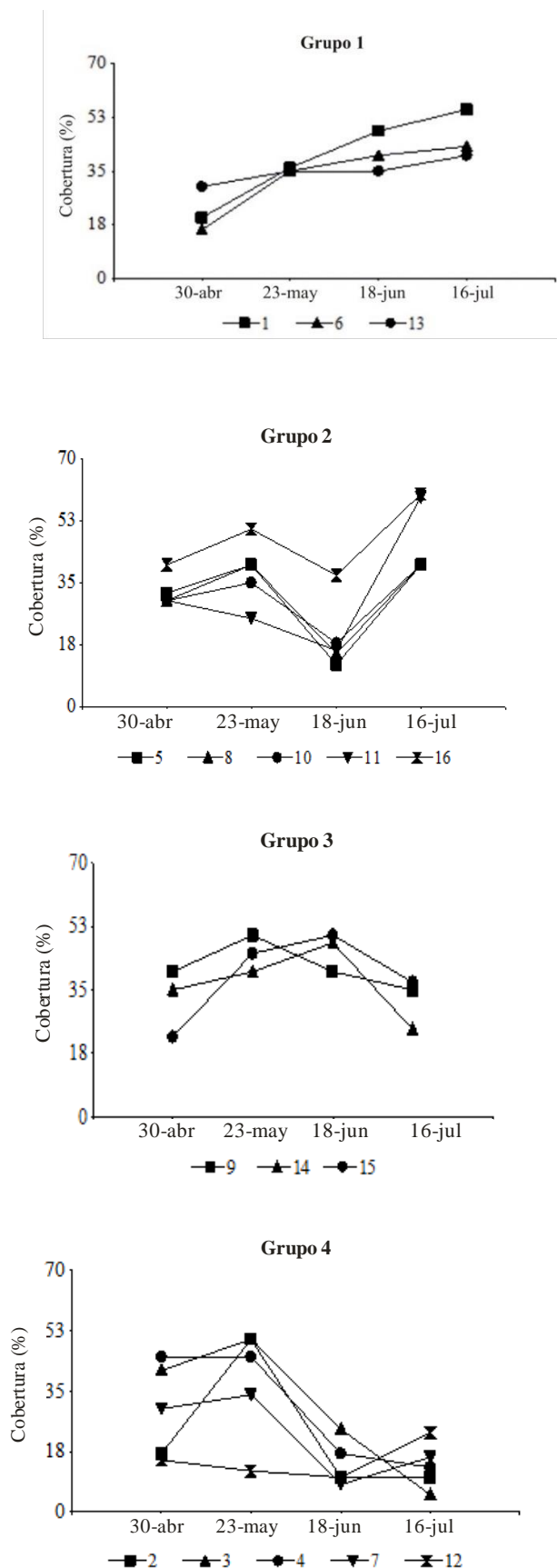


Figura 21. Dinámica del área de cobertura (%) de materiales híbridos de *Glandularia* en proceso de mejora probado durante la temporada otoño-invierno.

En la temporada primavera-verano, los valores más altos de cobertura se observaron en los materiales de los Grupos 1 y 2, con algunas diferencias. Los materiales del Grupo 1 alcanzaron buenos valores de cobertura a los 60 días después de la plantación, con una ligera disminución al comienzo del verano. Los del Grupo 2, en cambio, experimentaron una gran disminución en su cobertura a los 60 días después de la plantación, pero con una alta recuperación hacia el comienzo del verano, con valores máximos de cobertura. Los materiales de los Grupos 3 y 4 experimentaron un incremento moderado en su cobertura durante las etapas iniciales y luego, una disminución general al final de la primavera o al final del ensayo. Con base en los resultados para ambos períodos, los mejores materiales son los lotes 1, 8, 10, 11 y 16 dado su buen desempeño durante ambas temporadas de crecimiento. Esto se puede observar en el gráfico de la figura 22.

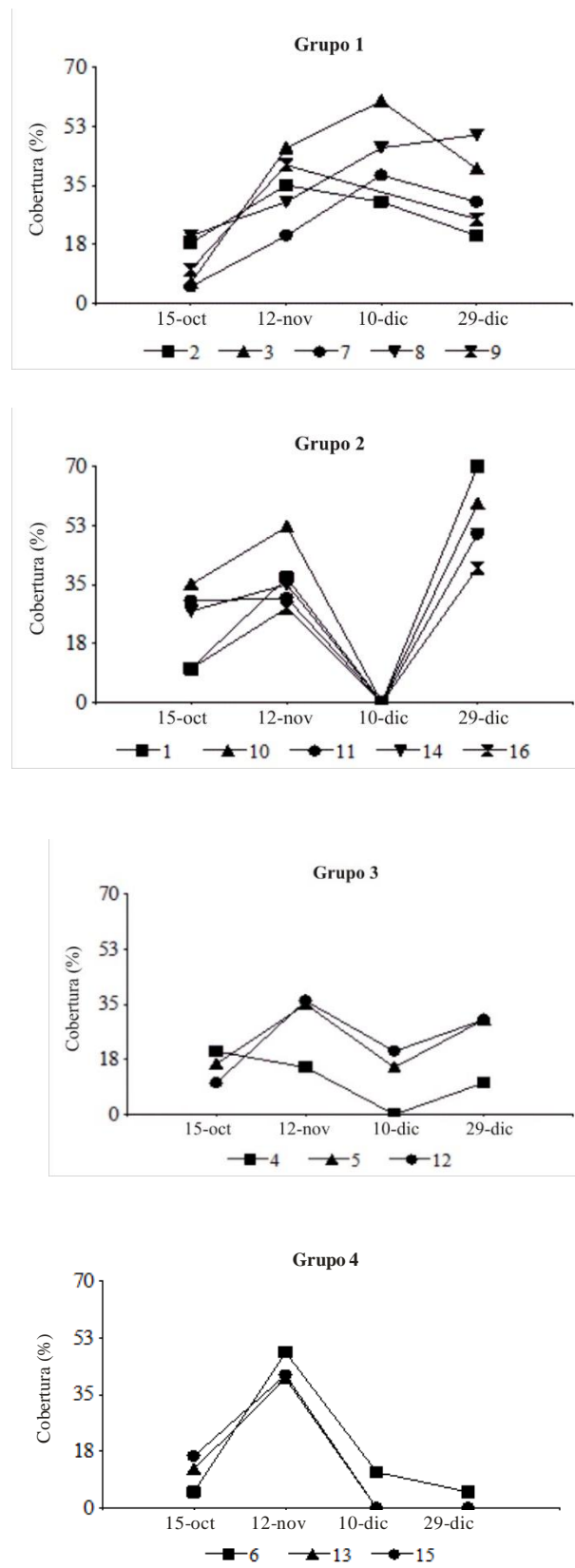


Figura 22. Dinámica del área de cobertura (%) de materiales híbridos de *Glandularia* en proceso de mejora probado durante la temporada primavera-verano.

III.4.1.4. Índice de aptitud para techos verdes (IATV)

En la tabla 6 se pueden observar los resultados del cálculo de IATV de los materiales probados y como se los clasifica para facilitar la selección de los mejores híbridos para techos verdes. La mitad de ellos presentó buen desempeño en condiciones de techo verde extensivo y semi-intensivo en ambos períodos de plantación. Al analizar las cinco variables, se evidenció una gran heterogeneidad en el comportamiento de los dieciséis (16) híbridos probados en condiciones de techos verdes semi-intensivos. La mayoría de los materiales que mostraron una mejor performance en la dinámica de cobertura durante ambas temporadas de crecimiento estuvieron bien posicionados de acuerdo al índice (IATV) (por ejemplo, lotes 1, 8, 10, 11 y 16; figura 21, 22 y tabla 6). Si bien, el lote 3 fue uno de los mejores de acuerdo con el IATV, mostró buen comportamiento en la dinámica de cobertura solo durante primavera-verano (figura 22 y tabla 6). Cuatro de los mejores híbridos, según las posiciones de IATV, tenían alguno o ambos progenitores comunes (Imhof et al., 2018); por ejemplo, los lotes 1, 9 y 11 ubicados en el primer, tercer y quinto lugar.

Al finalizar el primer ciclo, quedaron seleccionados cinco (5) materiales, los lotes 1, 3, 9, 10 y 11 elegidos por mejor desempeño para techo verde (tabla 7), están posicionados en primero, segundo y tercer orden de mejor IATV, en varios casos compartiendo el orden. A estos cinco híbridos elegidos por IATV, se le agrega un sexto material (Lote 5), que se incorpora al ensayo de selección en el segundo ciclo, por ser el único sobreviviente al periodo de receso estival 2015 en condiciones ambientales limitantes extremas. Queda selecto por una nueva variable (supervivencia final), que no fue incorporada en el índice para los ciclos siguientes de esta tesis, pero se ha observado que, en próximos ensayos de selección de especies para techo verde, debería incorporarse cuando los mismos tengan más de un año de crecimiento.

TABLA 7. Valores promedio del índice de aptitud del techo verde (IATV) para cada uno de los 16 materiales probados de híbridos de *Glandularia* en el primer ciclo de selección. Se presenta el IATV para el período otoño-invierno (1), primavera-verano (2), el valor medio con su desviación estándar (3) y el Orden de clasificación según IATV.

Lote	Híbrido	(1)	(2)	IATV \pm SD (3)	Orden de clasificación según IATV
1	UCC#113122009	0,81	0,52	0,66 \pm 0,24	2
3	UCC#815122009	0,68	0,65	0,66 \pm 0,21	2
14	UCC#5922102011	0,76	0,53	0,64 \pm 0,22	4
9	UCC#4029122010	0,74	0,7	0,72 \pm 0,15	1
10	UCC#4605012010	0,7	0,6	0,65 \pm 0,2	3
11	UCC#1120122009	0,74	0,56	0,65 \pm 0,17	3
8	UCC#3721122010	0,63	0,56	0,59 \pm 0,15	6
16	UCC#6525032012	0,87	0,42	0,64 \pm 0,29	4
15	UCC#6022102011	0,76	0,4	0,58 \pm 0,3	7
13	UCC#5701112011	0,76	0,45	0,61 \pm 0,25	5
6	UCC#2606102010	0,66	0,56	0,61 \pm 0,2	5
4	UCC#1520122009	0,73	0,31	0,52 \pm 0,3	9
7	UCC#2708122010	0,56	0,51	0,54 \pm 0,18	10
5	UCC#2105012010	0,57	0,54	0,55 \pm 0,2	8
2	UCC#615122009	0,51	0,48	0,5 \pm 0,26	11
12	UCC#2210012010	0,5	0,43	0,47 \pm 0,23	12

Referencia: Se presenta el IATV para el período otoño-invierno (1), primavera-verano (2), el valor medio con su desviación estándar (3) y el Orden de clasificación según IATV.

III.4.2. SEGUNDO CICLO DE SELECCIÓN

III.4.2.1. Supervivencia y estado sanitario.

Los valores de supervivencia (S) y estado sanitario (Es) de cada material vegetal probado se presentan en la tabla 8. Se puede observar que tres de los seis híbridos tuvieron una supervivencia mayor al 70 % (lotes 3 y 5), llegando hasta el 93,3% en el caso del material 11. Para los tres restantes (lotes 1, 9 y 10) se registraron valores entre el 55 y el 65%. El estado sanitario fue similar en todos los materiales (Es=3), es decir, bueno con algunos síntomas de estrés en hojas, salvo en el caso del lote 5 que se destaca por un muy buen estado de las plantas.

TABLA 8. Valor promedio de supervivencia (S) y estado sanitario (Es) de los materiales del segundo ciclo de selección

Lotes	Híbrido	SUPERVIVENCIA (%)	ESTADO SANITARIO (Es)
1	UCC#113122009	63,3	3
3	UCC#815122009	71,1	3
5	UCC#2105012010	80	4
9	UCC#4029122010	55	3
10	UCC#4605012010	60	3
11	UCC#1120122009	93,3	3

III.4.2.2. Cobertura

Como en el ciclo anterior, el valor mínimo para el área de cobertura generalmente coincidió con el período de plantación. Luego de 200 días de crecimiento, con una cobertura inicial de 10% en todos los híbridos, dos lotes (5 y 11) superaron los límites del espacio de ensayo disponibles para cada híbrido, que cubrieron más de un 100% y ocuparon superficie de parcelas de ensayo aledañas (tabla 9). Otros dos lotes (1 y 10) tuvieron buen desempeño, con una cobertura del 90% de la superficie asignada, mientras que los lotes 3 y 9 sólo llegaron a ocupar alrededor del 75 % de la misma.

TABLA 9. Porcentajes de cobertura para segundo ciclo de selección.

Lote	Híbrido	(1)	(2)	(3)
1	UCC#113122009	10	90	80
3	UCC#815122009	10	73	63
5	UCC#2105012010	10	117	107
9	UCC#4029122010	10	75	65
10	UCC#4605012010	10	90	80
11	UCC#1120122009	10	110	100

Referencia: Cobertura mínima (1); cobertura máxima (2); rango de crecimiento (3) (diferencia entre el valor final y el inicial).

III.4.2.3. Dinámica de la cobertura

En la figura 23 se puede observar la cobertura a lo largo del período del ensayo. Todos los materiales mostraron la misma tendencia de crecimiento en los primeros meses (rápida cobertura inicial), para luego decaer en los momentos donde los factores como la falta de agua y las bajas temperaturas se vuelven limitantes del crecimiento vegetativo y, por lo tanto, de la cobertura. Se determinó que los materiales con mejor cobertura fueron los que llegaron al máximo valor antes de finalizar el ensayo (lotes 5 y 11). Una particularidad es que, en el caso de los materiales que antes de tiempo llegan al valor máximo, el lote 5 decayó abruptamente luego del período desfavorable.

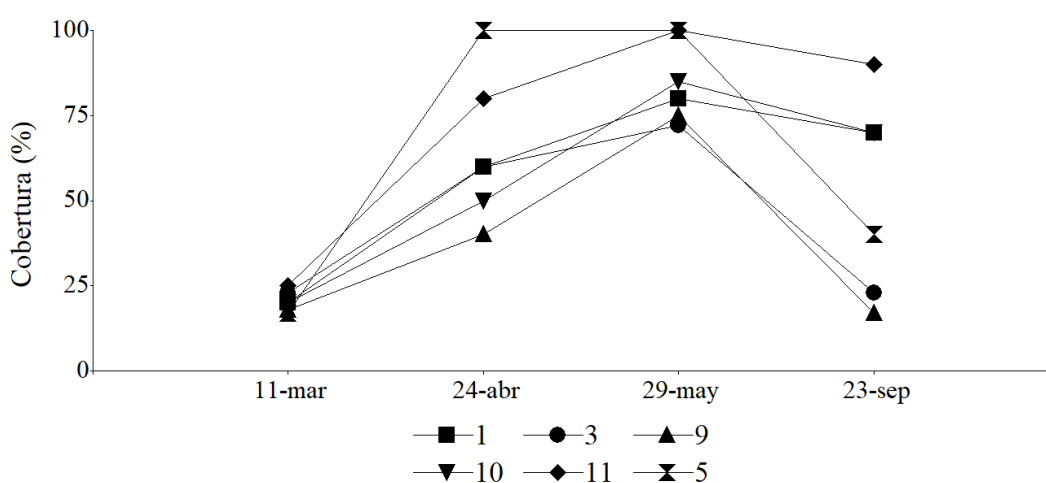


Figura 23. Dinámica del área de cobertura (Ca, %) de los materiales selectos de *Glandularia* en el segundo ciclo de selección.

II.4.2.4. Índice de aptitud para techos verdes (IATV)

Podemos observar que cuatro de los seis materiales evaluados presentaron muy buen desempeño en situaciones de techo verde semi-intensivo. Tomando como referencia al índice, el desempeño de cada material (tabla 10) se destacaron dos materiales (lotes 5 y 11) con muy buen desempeño y otros dos materiales que le siguen en orden (posicionamiento) como el lote 1 y el 10.

Al finalizar el segundo ciclo, quedaron seleccionados tres lotes 5,11 y 10, por su mejor aptitud para techo verde (tabla 9), ubicados en orden de mayor a menor IATV, respectivamente. En el caso de la tercera posición, fue compartida entre los lotes 1 y 10, y este último fue seleccionado por mejor comportamiento general, a pesar de registrar valores muy similares de las variables medidas en el tiempo.

TABLA 10. Valores promedio del índice de aptitud del techo verde (IATV) de cada uno de los seis materiales probados de híbridos de *Glandularia* para el segundo ciclo de selección.

Lote	Híbrido	IATV	Orden de clasificación según IATV
1	UCC#113122009	0,56	3
3	UCC#815122009	0,51	4
5	UCC#2105012010	0,88	1
9	UCC#4029122010	0,23	5
10	UCC#4605012010	0,56	3
11	UCC#1120122009	0,75	2

III.4.3. TERCER CICLO DE SELECCIÓN

III.4.3.1. Supervivencia y estado sanitario

Se pudo observar que los tres híbridos seleccionados en el ciclo anterior tuvieron una supervivencia mayor al 70 % (lotes 5, 10 y 11), y un comportamiento similar (tabla 11). El lote 17, proveniente de Mendoza, apenas superó el 60 % de supervivencia, aunque con un mejor estado sanitario que alguno de los híbridos de la UCC. El lote 5 se destacó en ambos parámetros.

TABLA 11. Valor promedio de supervivencia (S) y estado sanitario (Es) de los materiales del tercer ciclo de selección.

Lote	Híbrido	SUPERVIVENCIA (%)	ESTADO SANITARIO (Es)
5	UCC#2105012010	74	4
10	UCC#4605012010	73	3
11	UCC#1120122009	73	3
17	M	63	4

Referencia: Escala de Estado sanitarios según apariencia: 1 = plantas muertas; 2 = plantas con marcados síntomas de marchitamiento, dorado y necrótico en hojas y ramas; 3 = plantas con muy bajos síntomas de marchitez; 4 = plantas sanas; 5 = plantas que alcanzan la plenitud de crecimiento y floración.

III.4.3.2. Cobertura

Como en los ciclos anteriores, el valor mínimo (entre 10 y 20%) para el área de cobertura coincidió con el período de plantación. Luego de 150 días de crecimiento, los tres materiales (lotes 10,11 y 17) superaron el 85% de cobertura (tabla12).

TABLA 12. Porcentajes de cobertura para tercer ciclo de selección.

Lote	Híbrido	(1)	(2)	(3)
5	UCC#2105012010	23	65	42
10	UCC#4605012010	24	88	64
11	UCC#1120122009	28	86	58
17	M	11	86	75

Referencia: Cobertura mínima (1); Cobertura máxima (2); Rango de crecimiento (3); (diferencia entre el valor final y el inicial), para tercer ciclo de selección.

III.4.3.3. Dinámica de la cobertura

Se puede observar que los materiales tienen comportamiento similar a lo largo del tiempo (figura 24) y muestran un crecimiento (medido en porcentaje de cobertura) acelerado durante los primeros 90 días, luego la tasa de crecimiento decae, cuando las condiciones como escasez de agua y altas temperaturas se vuelven limitantes para el crecimiento.

El lote 5 no logró una gran cobertura rápidamente como los demás materiales evaluados, pero presentó mejor respuesta a los factores limitantes, y sostuvo esa cobertura en el tiempo.

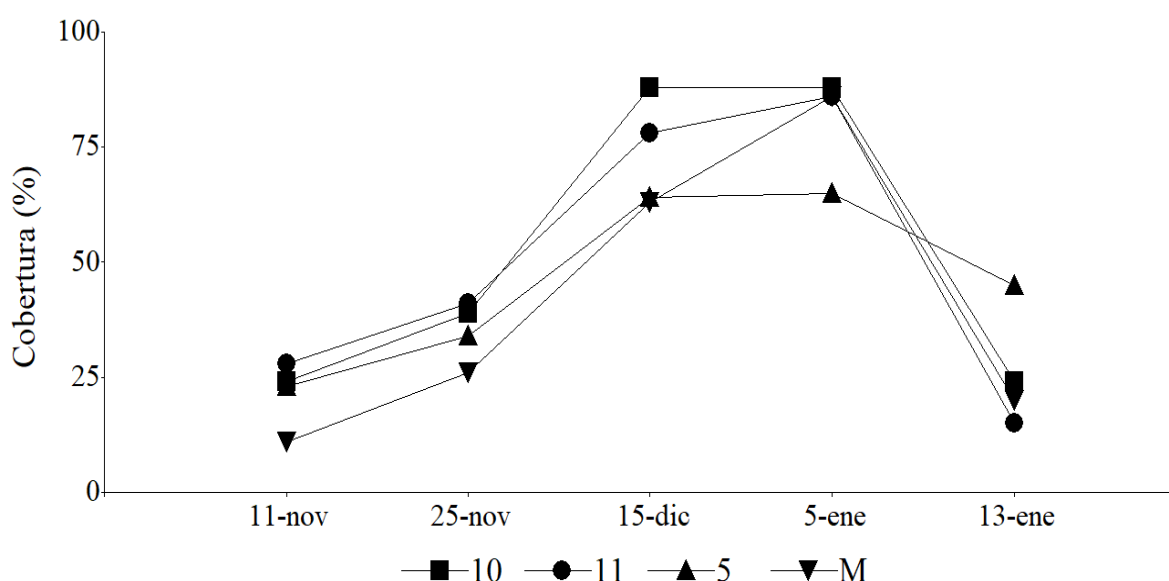


Figura 24. Dinámica del área de cobertura expresada en porcentajes, de materiales híbridos de *Glandularia* en proceso tercer ciclo de selección. Lote 5 (UCC#2105012010). Lote 10 (UCC#4605012010). Lote 11 (UCC#1120122009). Lote 17 (M).

III.4.3.4. Índice de aptitud para techos verdes (IATV)

Se puede observar que los materiales evaluados son aptos y se pueden recomendar para uso en condiciones de techo verde extensivo y semi-intensivo. La tabla 13 muestra el rendimiento según el cálculo de IATV de cada material, destacándose el lote 5, seguido por los lotes 10 y 11, con índices muy similares entre ellos, que se ubican en el segundo y tercer puesto respectivamente. El lote 17 (M) fue el cuarto, según IATV, de cuatro materiales evaluados.

TABLA 13. Valores promedio del índice de aptitud del techo verde (IATV) para cada uno de los cuatro híbridos probados de *Glandularia* para el tercer ciclo de selección.

Lote	Híbrido	IATV	Orden de clasificación según IATV
5	UCC#2105012010	0,64	1
10	UCC#4605012010	0,56	2
11	UCC#1120122009	0,54	3
M	M	0,49	4

Con respecto a la respuesta a la permanencia en el tiempo, de los materiales evaluados a lo largo de 24 meses, el lote 11 (UCC#1120122009), sobrevivió 12 meses, el lote 10 (UCC#4605012010), 17 meses y el lote 5 (UCC#2105012010) se destacó entre los tres, cumpliendo 24 meses implantado en los módulos de ensayo.

III.5. DISCUSIÓN

El carácter ruderal del género *Glandularia*, al igual que otras plantas nativas que también prosperan en banquinas y lugares naturales con perturbaciones, lo hicieron factible para ser evaluado para techos verdes de bajo mantenimiento (Nakano, Rousseau y Henderson, 2013). Es por ello que, el objetivo de este capítulo fue caracterizar los materiales de *Glandularia* provenientes de la colección de híbridos para determinar su idoneidad para cubiertas verdes semi-intensivas.

Los valores de supervivencia obtenidos de los ensayos de caracterización y de permanencia en el tiempo de los híbridos seleccionados mostraron valores superiores a los obtenidos por Van Woert y colaboradores (2005), donde un conjunto de especies de *Sedum* y plantas nativas, sobrevivieron 88 días sin riego en condiciones de techo verde extensivo.

En el caso de la cobertura, los valores obtenidos de los híbridos de *Glandularia* son comparables a otras plantas nativas como por ejemplo, *Brachys comemultifida*, *Chrysocephalum apiculatum*, *Disphyma crassifolium*, *Dianella caerulea*, *Lomandra longifolia*, *Myoporum parvifolium*, *Carpobrotus rossii* en Australia obtenido por Razzaghmanesh et al. (2014a y 2014b) o en Alabama (E.E.U.U.) con *Elymus hystrix*, *Viola egglestonii*, *Antennaria plantaginifolia* y *Phlox hirsute*, con valores de cobertura de 50% o menos sin irrigación (Price et al., 2011; Razzaghmanesh et al., 2014a, 2014b). Los híbridos mostraron comportamiento similar a *Anthemis marítimo*, que en el período estival en Italia experimentó un rápido crecimiento (Benvenuti y Bacci, 2010); y a *Dianthus fruticosus sub. Fruticosus*, en Grecia (Nektarios et al., 2011), o con *Comelina repens*, *Portulaca pilosa*, *Portulaca umbraticola* y *Portulaca grandiflora* en México (Ordoñez-López et al., 2012). Los híbridos seleccionados han superado valores de cobertura finales de 80% en 150 o 200 días, lo que es similar e incluso supera el valor máximo alcanzado de especies seleccionadas para techos verdes de bajo mantenimiento por Sendo y Kanechi (2010). Estos valores superan los exigidos por la FLL, que en sus pautas de calificación y aprobación de azoteas verdes se toma como valor mínimo 60% como mínimo de cobertura vegetal.

Al mismo tiempo se puede observar que, el índice IATV es una herramienta que permite discriminar los distintos híbridos de *Glandularia* en condiciones de techos verdes, a pesar de que, como todo índice de selección, tiene sus limitantes. En nuestro caso una variable (la supervivencia final luego de un periodo desfavorable), no es incorporada finalmente al índice de aptitud, por no gravitar en los siguientes ciclos de selección. La variable dio posibilidad de no descartar un material destacado (Lote 5), su aptitud en condiciones desfavorables le permitió

volver a probar el material y confirmar su aptitud en para cubiertas naturadas de bajo mantenimiento.

III.6. CONCLUSIONES

La metodología de caracterización y selección de materiales híbridos de *Glandularia* para su incorporación como componente de la vegetación en techos verdes de bajo mantenimiento, exigió que cada material vegetal sobreviva a las condiciones ambientales limitantes (S), que mantenga un óptimo estado vegetativo (Es), que crezca rápidamente (Ca) y que, si colapsa, presente capacidad de rebrotar. Los materiales seleccionados fueron los de mejor respuesta frente a las condiciones limitantes a las que fueron expuestos, esto significa que, los híbridos seleccionados están dentro de los parámetros buscados para el estrato vegetal de sistemas extensivos y semi-extensivos de techos verdes en zona semiárida.

El índice IATV facilita la comparación y selección de materiales vegetales, en este caso, los híbridos de *Glandularia* evaluados para cubiertas verdes extensivas y semi-intensivas. Mediante ensayos de selección más extendidos en el tiempo, se podría incorporar las variables como supervivencia final o capacidad de auto-propagación, con un peso proporcional y convertirse en una herramienta útil para clasificar cualquier conjunto de materiales vegetales para techos verdes.

Los resultados de los ensayos sugieren que *Glandularia* es un género valioso para usarse en condiciones limitantes como la de los techos verdes en regiones semiáridas. Es importante la observación de otras variables, que no deben descartarse como la permanencia en el tiempo, la capacidad de resiembra y las relaciones entre especies como la abundancia relativa, la riqueza, entre otras.

Serán necesarios períodos de evaluación prolongados en el tiempo con los materiales seleccionados (es decir, lotes 5, 10 y 11), así como en condiciones reales de azotea (escalas más grandes en espacios urbanos densificados) para comprender su potencial como componente de techo verde a lo largo de los años. Otro aspecto importante a considerar es la evaluación de los híbridos destacados en microcosmos, combinados con otras especies y formas de vida. Una paleta más amplia en la selección de especies sería apropiada para garantizar la sustentabilidad del techo verde semi-intensivo en condiciones climáticas semiáridas.

IV. CONCLUSIONES MÁS RELEVANTES DEL TRABAJO

La ciudad de Córdoba se encuentra dentro del rango óptimo del índice de áreas verdes por habitante, a pesar de lo cual, esta superficie no está distribuida proporcionalmente. La pérdida de calidad ambiental debido a la urbanización creciente se refleja en la ciudad de Córdoba. Una de las herramientas que logra equilibrar esta tensión son los techos verdes, promovidos como una práctica de construcción sostenible.

Del diagnóstico de situación realizado se pudo observar que Córdoba cuenta con techos verdes, cuya superficie en metros de techo verde por kilómetro cuadrado de ejido municipal, equivale a la mitad de superficie respecto a otras capitales densamente pobladas (Ciudad de México). Los techos verdes existentes son en su mayoría mono-específicos, transitables, y necesitan de un mantenimiento medio a alto. La principal limitante para la adopción de esta tecnología en la región es la sostenibilidad del sistema vivo en el tiempo, en las condiciones ambientales del clima semiárido.

Del diagnóstico realizado, la evaluación de los materiales vegetales y el análisis de los factores involucrados en la sustentabilidad de los sistemas de techos verdes se han propuesto lineamientos o criterios que permitan cubrir las necesidades de las cubiertas verdes en zonas semiáridas. El diseño debería priorizar el mínimo mantenimiento para que el sistema se desarrolle y permanezca en funcionamiento, con una profundidad de entre 15 y 25 cm para que la vegetación pueda adaptarse a las condiciones de semi-aridez. Es importante que los componentes físicos que formen parte del sistema posean baja huella ecológica. El componente vegetal no debería ser mono-específico, y más aún relacionados de forma dinámica como parte de corredores biológicos intraurbanos. La conectividad biológica debería tenerse en cuenta como parte de las políticas públicas y la implementación de esta tecnología debería surgir como resultante del reconocimiento social y no de la imposición de sector gubernamental.

El presente trabajo comprobó que, en la ciudad de Córdoba, los techos verdes realizados no incluyeron en sus diseños plantas nativas, por lo cual es relevante el aporte de este trabajo, para sugerir materiales que puedan formar parte del estrato vegetal en techos verdes de bajo mantenimiento.

La metodología de evaluación de los materiales en proceso de mejoramiento de *Glandularia* permitió caracterizar y seleccionar los híbridos de mejor desempeño para condiciones simuladas de techos verdes semi-intensivos. Los resultados de estos ensayos permiten proponer ensayos en condiciones reales de techos urbanos, donde se pueda mejorar el IATV, incluyendo variables como supervivencia final o autopropagación de las especies estudiadas.

Este trabajo de diagnóstico, evaluación y análisis, propone para la ciudad de Córdoba un sistema semi extensivo, diverso, con una base vegetal de germoplasma nativo, de bajo costo ambiental, de mantenimiento e instalación que tiene en cuenta los lineamientos de sustentabilidad planteados.

V. BIBLIOGRAFÍA

V.1. Introducción

ANGIOLINI, S., PACHARONI, A., JEREZ, L., ABADIA, L., ÁVALOS, P., y RUSSO, N. Identificación de indicadores de diseño sustentable como metodología de enseñanza en arquitectura. *X Congreso Regional de Tecnología en Arquitectura (CRETA)* La Plata, 2018.

ARONSON, M.F.J., LA SORTE F.A., C.H. NILON C.H. A global analysis of the impacts of urbanization on bird and plant diversity reveals key anthropogenic drivers. *Proceedings of the Royal Society B* 281: 20133330. Community Choice Research Highlight, “most viewed papers in science” in Nature, 2014, vol.508.

BATES, A.J., SADLER, J.P., GRESWELL, R.B., MACKAY, R. Effects of recycled aggregate growth substrate on green roof vegetation development: A six-year experiment. *Landscape Urban Plan*, 2015, vol. 135, 22–31. doi: 10.1016/j.landurbplan.2014.11.010

BAUMANN, N. Ground-nesting birds on green roofs in Switzerland: preliminary observations. *Urban Habitats*, 2006, vol. 4 (1), 37–50.

BERNDTSSON J.C. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 2010, vol. 36, Issue 4, p. 351-360. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>

BERNDTSSON, J.C., BENGTSSON, L., JINNO, K. Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs, *Ecological Engineering*, 2009, vol. 35, p. 369–380

BERNDTSSON, J.C., EMILSSON, T., BENGTSSON, L. The influence of vegetated roofs on runoff water quality. *Science Total Environment*, 2006, vol. 355, p.48–63.

BIANCHINI F., HEWAGE K. How green are green roof? Lifecycle analysis of green roof materials. *Build Environment* 48, 2012. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.08.019

BOLAÑOS SILVA T., MOSCOSO A. Consideraciones y selección de especies vegetales para su implementación en eco envolventes arquitectónicos: una herramienta metodológica. *Revista Nodo* 10, 2011. <http://csifesvr.uan.edu.co/index.php/nodo/article/view/138/118>.

BRENNEISEN S. Space for Urban Wildlife: Designing Green Roofs as Habitats in Switzerland. *Urban habitats*, 2006, vol. 4, número 1. ISSN 1541-7115.

CÁCERES, N., IMHOF L., SUÁREZ M., HICK E., Y GALETTO L. Assessing native germplasm for extensive green roof systems of semiarid regions. *Ornamental Horticulture*, 2018, vol. 24 (4), p.466-476. doi: 10.14295/oh. v24i4.1225.

CARBALLO, P., MARTIARENA, M., SCARDINO, L. Plazas de cercanía en Córdoba: espacios de juego e interacción social de niños, niñas y adolescentes. *Ed. Virginia Scardino*, 2015, 1a ed. Córdoba: CEPYD; Córdoba: Red Ciudadana Nuestra Córdoba; Córdoba: Fundación ARCOR.

CARTER, T., Y KEELER, A. Life-cycle cost–benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of Environmental Management*, 2008, vol. 87(3), p. 350–363. doi: 10.1016/j.jenvman.2007.01.024

CARTER, T. L., Y RASMUSSEN, T. C. Hydrologic behavior of vegetated roofs¹. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 2007, vol. 42(5), p. 1261–1274. doi:10.1111/j.1752-1688. 2006.tb05299.x

COFFMAN R.R. Y WAITE T. Vegetated roofs as reconciled habitats: rapid assays beyond mere species counts. *Urban Habitats*, 2011 - researchgate.net

COMA, J., PÉREZ, G., CASTELL, A., SOLÉ, C., y CABEZA, L. F. Green roofs as passive system for energy savings in buildings during the cooling period: use of rubber crumbs as drainage layer. *Energy Efficiency*, 2014, vol. 7(5), p.841-849.

COMA, J., PÉREZ, G., SOLÉ, C., CASTELL, A., y CABEZA, L. F. Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. *Renewable energy*, 2016, vol. 85, p.1106-1115.

COMA, J., DE GRACIA, A., CHAFER, M., PÉREZ, G., & CABEZA, L. F. Thermal characterization of different substrates under dried conditions for extensive green roofs. *Energy and Buildings*, 2017, vol. 144, p.175-180.

COMA, J., PÉREZ, G., CABEZA, L.F. Life Cycle Assessment of Green Roofs. *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability*. Butterworth-Heinemann, 2018. p. 341-351.

COOK-PATTON, S. C., & BAUERLE, T. L. Potential benefits of plant diversity on vegetated roofs: A literature review. *Journal of Environmental Management*, 2012, vol. 106, 85–92. doi: 10.1016/j.jenvman.2012.04.003

DALMASSO A., CANDIA R. y LLERA J. La vegetación como indicadora de la contaminación por polvo atmosférico. *Multequina*, 1997, núm. 6, pp. 85-91. ISSN: 0327-9375

- DEL GESSO L., ROMERO C. Utilización de sensores remotos para la evaluación del fenómeno de isla de calor urbana en la ciudad de Córdoba. Informe preliminar. *Observatorio Ambiental Municipal*. Municipalidad de Córdoba. 2018. [https://gobiernoabierto.cordoba.gob.ar/media/datos/ Reporte introductorio Isla de Calor.pdf](https://gobiernoabierto.cordoba.gob.ar/media/datos/Reporte%20introductorio%20Isla%20de%20Calor.pdf)
- DIETZ, M. E., y CLAUSEN, J. C. Saturation to Improve Pollutant Retention in a Rain Garden. *Environmental Science & Technology*, 2006, vol. 40(4), p. 1335–1340. doi:10.1021/es051644f
- DUNNETT N. y KINGSBURY N. Planting Green Roofs and Living Walls. *Timber Press*, 2008. Portland, Oregon, vol. VII, p. 328.ISBN:9780881929119 0881929115
- DURHMAN A.K., ROWE D.B., RUGH C.L. Effect of substrate depth on initial growth, coverage, and survival of 25 succulent green roof plant taxa. *Hort Science*, 2007, vol. 42, p. 588-595,
- DVORAK, B. y VOLDER A. Green roof vegetation for North American ecoregions: a literature review. *Landscape and Urban Planning*, 2010, vol. 4, p.197-213. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.04.009>
- ECONOMIST INTELLIGENCE UNIT. Índice de Ciudades Verdes en América Latina–*Siemens e INEC*, 2012, pp. 70.
- ENRIGHT C. Green roofs are growing: standards support sustainability. *Standardization News*. May/June. 2013. <http://www.astm.org/sn/features/green-roofs-are-growing-mj13.html>.
- FENG, C., MENG, Q., y ZHANG, Y. Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. *Energy and Buildings*, 2010, vol.42(6), p. 959–965. doi: 10.1016/j.enbuild.2009.12.014
- FIORETTI, R., PALLA, A., LANZA, L. G., y PRINCIPI, P. Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment*, 2010, vol. 45(8), p.1890–1904. doi: 10.1016/j.buildenv.2010.03.001
- FLORES ASIN, J. E., MARTÍNEZ, C. F., y CANTÓN, M. A. Tecnologías verdes. Potencial de aplicación en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM). *Acta de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2013, vol. 1, p. 05-115.
- FLORES ASIN, J.E., MARTINEZ C.F., CANTÓN M.A., y CORREA E.N. Impacto de cubiertas vegetadas en el ahorro energético del parque edilicio del área metropolitana de

Mendoza (AMM). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2015, vol.9, p.05.35-05.43. ISSN: 2314-1433

FLORES ASIN, J. E., MARTÍNEZ, C. F., CANTÓN, M. A., & CORREA, E. N. Ahorro energético residencial en ciudades de zonas áridas. *Estudios Del hábitat*, 2017, vol. 15(2), e023. <https://doi.org/10.24215/24226483e023>

FRAZER, L. Paving paradise: the peril of impervious surfaces. *Environmental Health Perspective*, 2005, vol. 113 (Nº7), p.457–462

GETTER K.L., ROWE D.B. The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development. *Hortscience*, 2006, vol.41(5), p.1276–1285

GETTER K.L., ROWE D.B., CREGG B.M. Solar radiation intensity influences extensive green roof plant communities. *Urban Forestry and Urban Greening*, 2009, vol. 4, p. 269-281, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.06.005>

GÓMEZ-BAGGETHUN, E., y BARTON, D. N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 2013, vol. 86, p.235–245. doi: 10.1016/j.ecolecon.2012.08.019

GRIME, J.P. Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties. *John Wiley, Chichester*, 2001.UK.

GRIMM, N. B., FAETH, S. H., GOLUBIEWSKI, N. E., REDMAN, C. L., WU, J., BAI, X., y BRIGGS, J. M. Global Change and the Ecology of Cities. *Science*, 2008, 319(5864), p.756–760. doi:10.1126/science.1150195

HE, H., y JIM, C. Y. Simulation of thermodynamic transmission in green roof ecosystem. *Ecological Modelling*, 2010, vol. 221(24), p. 2949–2958. doi: 10.1016 /j. ecolmodel.2010.09.002

HAYAS LÓPEZ A., Optimizando el potencial de techos verdes para la rehabilitación energética de edificios: interacción entre sustratos reciclados, propiedades hídricas y eficiencia energética. Guía técnica. *Universidad de Córdoba*, 2015, Bonterra Ibérica y Paisajes del Sur.

INFORME Córdoba Ciudad. Argentina. Red Global de Observatorios urbanos de Naciones Unidas (nodo Córdoba). *Observatorio Urbano Córdoba* (OUC), 2014. Universidad Nacional de Córdoba.

- JIM, C. Y., y HE, H. Coupling heat flux dynamics with meteorological conditions in the green roof ecosystem. *Ecological Engineering*, 2010, vol. 36(8), p. 1052–1063. doi: 10.1016/j.ecoleng.2010.04.018
- KAHN, P.H. The human relationship with nature: Development and culture. *MIT Press*, 1999.
- KAPLAN, R., KAPLAN, S., y BROWN, T. Environmental Preference. *Environment and Behavior*, 1989, vol. 21(5), p. 509–530. doi:10.1177/0013916589215001
- KOSAREO, L., RIES, R. Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. *Building and environment*, 2007, vol. 42, no 7, p. 2606-2613.
- LEE, K., KIM, JH. Changes in crassulacean acid metabolism (CAM) of Sedum plants with special reference to soil moisture conditions. *Journal of Plant Biology (Korea Republic)*, 1994.
- LIVINGSTON, E. H.; MILLER, C.; LOHR, M. Green roof design and implementation in Florida. *Proceedings of the 2nd North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities, Portland, OR, The Cardinal Group, Toronto*. 2004.
- LOUV, R. The nature principle: Reconnecting with life in a virtual age. *Algonquin Books*, 2012.
- LUNDHOLM, J.T. Green roofs and facades: a habitat template approach. *Urban habitats*, 2006, vol. 4, no 1, p. 87-101.
- LUNDHOLM, J.T.; RICHARDSON, P.J. Mini-review: Habitat analogues for reconciliation ecology in urban and industrial environments. *Journal of Applied Ecology*, 2010, vol. 47, no 5, p. 966-975.
- MACIVOR, J. S.; LUNDHOLM, J. Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate. *Ecological Engineering*, 2011, vol. 37, no 3, p. 407-417.
- MADRE, F., VERGNES, A., MACHON, N., y CLERGEAU, P. Green roofs as habitats for wild plant species in urban landscapes: First insights from a large-scale sampling. *Landscape and Urban Planning*, 2014, vol. 122, p. 100–107. doi: 10.1016 /j.landurbplan.2013.11.012
- MEA Millennium Ecosystem Assessment. Sustainable Agriculture and Natural Resource Management (SANREM) *Knowledgebase*. 2005. <http://hdl.handle.net/10919/65899>
- MORGAN, S., CELIK, S., RETZLAFF, W. Green roof storm-water run off quantity and quality. *Journal of Environmental Engineering*, 2012, VOL. 139, NO 4, P. 471-478. doi:10.1061/(asce)ee.1943-7870.0000589

MÜLLER GARCIA, T. Evaluation of the first green roof in the District of Xochimilco in Mexico City after 15 Months. *World Green Roof Congress*, Basel, Switzerland. 2005.

ONU Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales Instituciones Públicas. *Gobierno electrónico en apoyo al desarrollo sostenible*. 2016. <https://publicadministration.un.org/es/Research/UN-e-Government-Surveys>

OBERNDORFER E., LUNDHOLM J., BASS B., COFFMAN R., DOSHI H. AND DUNNETT N., GAFFIN S., KÖHLER M., LIU K., y ROW B. Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. *Bio Science*, 2007, vol. 57, no 10, p. 823-833.

ODLI Z.S. M., ZAKARYA I.A., MOHD F.N., IZHAR T.N.T., IBRAHIM N.M. Y MOHAMAD N. Green roof technology-mitigate urban heat island (UHI) effect. *MATEC Web of Conferences*. EDP Sciences, 2016. p.01100(2016).10.1051/mateconf /2016781100

ODUM, E.P. Fundamentals of Ecology. *WB Saunders Company*. Philadelphia, London, Toronto, 1971.

PAÇO T.A., ANICO A., SOARES A.L., CAMEIRA M.R., CRUZ DE CARVALHO R., ABREU F., SANTO D.E. Green roofing with native species: alternative urban landscape areas to enhance water use and sustainability in Mediterranean conditions. 2017. *Autochthonous plants in the urban environment*. Ed. B Ravnjak, J Bavcon, S Sharrock. University Botanic Gardens, Ljubljana, p. 59-77.<https://www.nhbs.com/autochthonous-plants-in-the-urban-environment-book>

PAÇO T.A., CARVALHO R.C., ARSÉNIO P., MARTINS D. Green roof design techniques to improve urban water management under Mediterranean conditions. *WatefCon 2018 – Water Efficiency Conference 2018: Future of Water in Europe*, 5-7 Set, Aveiro. <https://www.watefnetwork.co.uk/conference>.

PAÇO T.A., CARVALHO R.C., ARSÉNIO P., MARTINS D. Green Roof Design Techniques to Improve Water Use under Mediterranean Conditions. *Urban Science*, 2019, vol. 3, p. 14.doi: 10.3390/urbansci3010014. <https://www.mdpi.com/2413-8851/3/1/14>

PORSCHKE, U. y KÖHLER, M. Life Cycle Costs of Green Roofs: A Comparison of Germany, USA, and Brazil. *RIO 3 – World Climate& Energy Event*. 2003.

RAYNER J.P., FARRELL C., RAYNOR K.J., MURPHY S.M., WILLIAMS N.S. Plant establishment on a green roof under extreme hot and dry conditions: the importance of leaf succulence in plant selection. *Urban Forestry and Urban Greening*, vol.15, p. 6-14

- SETO K.C., FRAGKIAS M., GÜNERALP B., REILLY M.K. A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion. 2011. PLoS ONE 6(8): e23777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>
- SIMMONS, M. T., GARDINER, B., WINDHAGER, S., y TINSLEY, J. Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate. *Urban Ecosystems*, 2008, vol. 11(4), p. 339–348. doi:10.1007/s11252-008-0069-4
- SNODGRASS E.C., SNODGRASS L.L. Green roof plants: a resource and planting guide (No. 04; SB419. 5, S5.). *Portland: Timber Press*. 2006. ISBN: 0881927872; 9780881927870. Record number: 1934193
- SONNE, J. Evaluating green roof energy performance. *ASHRAE Journal*, 2006, vol.48, p. 59–61
- SUTTON R. Introduction to Green Roof Ecosystems. *Ecological Studies* (Analysis and Synthesis), 2015, vol 223. Springer, Cham
- SUTTON, R.K., HARRINGTON, J.A., SKABELUND, L., MACDONAGH, P., COFFMAN, R.R., KOCH, G. Prairie-based green roofs: literature, templates, and analogs. *Green Building*, 2012, vol. 7 (1), p.143–172. <http://dx.doi.org/10.3992/jgb.7.1.143>
- TAN, P. Y., y SIA, A. A pilot green roof research project in Singapore. In Proceedings of third annual greening rooftops for sustainable communities conference, *Awards and Trade Show*, 2005. Washington, DC.
- TEEMUSK, A., y MANDER, Ü. Temperature regime of planted roofs compared with conventional roofing systems. *Ecological Engineering*, 2010, vol. 36(1), p. 91-95.
- TORRES, C., GALETTO, L., Flowering phenology of co-occurring Asteraceae: a matter of climate, ecological interactions, plant attributes or of evolutionary relationships among species? *Organisms Diversity & Evolution*, 2011, vol. 11, no 1, p. 9-19.
- VAN RENTERGHEM, T., BOTTELDOOREN, D. Reducing the acoustic alfaçade load from road traffic with green roofs. *Building and environment*, 2009, vol. 44, no 5, p. 1081-1087.
- VAN RENTERGHEM, T., BOTTELDOOREN, D. Numerical evaluation of sound propagating over green roofs. *Journal of sound and vibration*, 2008, vol. 317, no 3-5, p. 781-799.

VIJAYARAGHAVAN, K.; REDDY, D. Harikishore Kumar; YUN, Y.-S. Improving the quality of runoff from green roofs through synergistic bio sorption and phytoremediation techniques: a review. *Sustainable Cities and Society*, 2018. doi: 10.1016/j.scs. 2018.12.009

VOLDER, A., DVORAK, B. Event size, substrate water content and vegetation affect storm water retention efficiency of an un-irrigated extensive green roof system in Central Texas. *Sustainable Cities and Society*, 2014, vol. 10, p. 59-64.

WANIELISTA, M., BALDASSARI, T., RYAN, P., RIVERA, B., SHAH, T., y STUART, E. Feasibility study of waste tire use in pollution control for storm water management, drain fields and water conservation in Florida. *Seminole County Florida and State DEP*, 2008.

WILLIAMS, N., RAYNER, J. P.; RAYNOR, K. J. Green roofs for a wide brown land: Opportunities and barriers for roof top greening in Australia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2010, vol. 9, no 3, p. 245-251.

YANG, J., YU, Q., GONG, P. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric environment*, 2008, vol. 42, no 31, p. 7266-7273.

V.2. Capítulo 1

BUROTTTO, C. Copenhague hizo obligatorios los techos verdes... ¿qué pasa en Chile?, 2014.[http://www.eldefinido.cl/actualidad/mundo/2938/Copenhague hizo obligatorios los techos verdes, que pasa en Chile/](http://www.eldefinido.cl/actualidad/mundo/2938/Copenhague_hizo_obligatorios_los_techos_verdes_que_pasa_en_Chile/) Consulta: 26.10.2016

CARBALLO, P.; MARTIARENA, M.; SCARDINO, L. Plazas de cercanía en Córdoba: espacios de juego e interacción social de niños, niñas y adolescentes. *Ed. Virginia Scardino. - 1a ed. Córdoba: CEPYD; 2015. Córdoba: Red Ciudadana Nuestra Córdoba; Córdoba: Fundación ARCOR.*

CARTER, T., JACKSON, C. Rhett. Vegetated roofs for storm water management at multiple spatial scales. *Landscape and urban planning*, 2007, vol. 80, no 1-2, p. 84-94.

CHIARELLA, P. Diseño y Construcción de cubiertas naturadas en la región Bioclimática litoral centro. Tipología de situaciones construcción en base a desafíos técnicos asociados. *FADU/UNL*. 2012.

EHRlich, P., R.; HOLDREN, J. P. Impact of population growth. *Science*, 1971, vol. 171, no 3977, p. 1212-1217.

- FRANCIS, L.F. M., JENSEN, M. B. Benefits of green roofs: A systematic review of the evidence for three ecosystem services. *Urban forestry & urban greening*, 2017, vol. 28, p. 167-176.
- FLORES ASIN, J. E., et al. Impacto de cubiertas vegetadas en el ahorro energético del parque edilicio del área metropolitana de Mendoza (AMM). *Acta de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2015, vol. 3, p. 05.81-05.89.
- GETTER, K.L., ROWE, D. B. The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 2006, vol. 41, no 5, p. 1276-1285.
- HELFAND, G.E.; PARK, J.S.; NASSAUER, J.I.; KOSEK, S. The economics of native plants in residential landscape designs. *Landscape and Urban Planning*, 2006. vol. 78, no 3, p. 229-240
- IGRA, Types of Green Roofs. International Green Roof Association. (IGRA). 2008. <http://www.igra-world.com/green-roof-types/index.html> (accessed January, 2009).
- LOPEZ, M.J. Los edificios más verdes de Chile. 2010. <http://www.quepasa.cl/articulo/negocios/2010/02/16-4442-9-los-edificios-mas-verdes-de-chile.shtml>/Consulta: 26.10.2016
- LUNDHOLM, J.; MACLVOR, S.J.; MAC DOUGALL, Z.; RANALLI, M. Plant species and functional group combinations affect green roof ecosystem functions. *PlosOne*, 2010, vol. 5(3): p. e9677
- MCKINNEY, M. L. Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. *Urban ecosystems*, 2008, vol. 11, no 2, p. 161-176.
- MINKE, G. Techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos. *Editorial Fin de Siglo*, 2004. Montevideo, Uruguay. ISBN; 9974-49-323-4. p 7- 21.
- NASSAUER, J.I. Placing Nature. Culture and Landscape Ecology. *Island Press*. 1997. Washington D.C. Covelo, California.
- NIACHOU, A.; PAPAKONSTANTINO K; SANTAMOURIS, M.; TSANGRASSOULIS, A.; MIHALAKAKOU, G. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, 2001, vol.33, p. 719–729.
- OBERNDORFER, E.; LUNDHOLM, J.; BASS, B., COFFMAN, R. R.; DOSHI, H.; DUNNETT, N. Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures functions, and services. *Bio Science*, 2007. Vol. 57, p. 823–833.

OBSERVATORIO Ambiental de Bogotá. 2015. <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/indicadores?id=826&v=1>. Consulta: 26.10.2016

PACILIO, J.M. Los "techos verdes", la solución ecológica para combatir los problemas urbanos. (2015) URL: <http://www.infobae.com/2015/11/01/1766093-los-techos-verdes-la-solucion-ecologica-combatir-los-problemas-urbanos/>. Consulta: 26.10.2016

PINGUELLI R. L. MEIMARIDOU R. S., ESPÍÑEIRA DIAS, M.C.; UGALDE VICUÑA, J. Techos naturadas como herramienta para el desarrollo sustentable en viviendas ecológicas de Brasil. *II Taller Internacional de Trabajo Social*. 2002.

RAMÍREZ, W.A.; BOLAÑOS SILVA, T. Revisión sobre el papel de los techos verdes en la remoción de carbono atmosférico en el neotrópico. *Facultad de Administración y Gestión Ambiental, Universidad Piloto de Colombia*. 2012. Bogotá, Colombia.

RAZZAGHMANESH, M., BEECHAM, S., SALEMI, T. The role of green roofs in mitigating Urban Heat Island effects in the metropolitan area of Adelaide, South Australia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016, vol. 15, p. 89-102.

ROSATTO, H. G.; FRIEDRICH, M.; LAUREDA, D.; BARGIELA, M.; PÉREZ, D.; RODRÍGUEZ PLAZA, L.; BARRERA, L.; CALVO, G.; MEYER, M.; MIRANDA, M.; GAMBOA, P.; IÑIGO, M.; VILLALBA, G.; QUANTENNE, E. Eficiencia de la retención hídrica de las cubiertas vegetadas. *Rev. FCA UN Cuyo*, 2010, vol. 42, p.213-219.

SANTAMOURIS, M. Cooling the cities—a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar energy*, 2014, vol. 103, p. 682-703.

SPEAK., A.F.; ROTHWELLA, J.J.; LINDLEYA, S.J.; SMITHB C.L. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment*, 2012, vol. 61, p. 283-293.

SUSCA, T. Green roofs to reduce building energy use? A review on key structural factors of green roofs and their effects on urban climate. *Building and Environment*, 2019, p. 106273.

VAN RENTERGHEM, T., BOTTELDOOREN, D. Numerical evaluation of sound propagating over green roofs. *Journal of sound and vibration*, 2008, vol. 317, no 3-5, p. 781-799.

VOROSMARTY, C. J.; GREEN, P.; SALISBURY, J.; LAMMERS, R.B. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *Science*, 2000, vol. 289, no 5477, p. 284-288.

WILLIAMS, N.S.G., RAYNER, J.P., RAYNOR, K.J. Green roofs for a wide brown land: Opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2010, vol. 9, no 3, p. 245-251. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2010.01.005>

ZIELINSKI, S.; GARCÍA COLLANTE, M.A.; VEGA PATERNINA, J.C. Techos verdes: ¿una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta? *Revista Gestión y Ambiente*, 2012, vol.15, p.91-104.

V.3. Capítulo 2

ÁVILA, V. Sustentabilidad y gestión ambiental. Tendencias emergentes en los procesos territoriales urbanos. *Revista PENSUM*, 2015. ISSN: 2469-0724. Volúmen 1, p. 24- 37 <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/pensu/issue/view/1133>

BARRERA ALARCÓN, I.G. Desarrollos urbanos integrales sustentables: una utopía de la ciudad perfecta. *Tesis de Maestría*.2014. *Universitat Politècnica de Catalunya*. upcommons.upc.edu.

BEATTIE, D.; BERGHAGE, R. Green roof media characteristics: the basics. *Second annual Greening Rooftops for sustainable communities conference, Awards and Trade show*. 2004. p. 2-4. Portland, Oregon

BERNDTSSON, J. C., BENGTSSON, L., y JINNO, K. Runoff water quality from intensive and extensive vegetated roofs. *Ecological engineering*, 2009, vol. 35, no 3, p. 369-380.doi: 10.1016/j.ecoleng.2008.09.020

BIANCHINI, F., y HEWAGE, K. Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs: a life cycle approach. *Building and Environment*, 2012, vol. 58, p. 152-162.

BLASI, E., PASSERI, N., FRANCO, S. Y GALLI, A. An ecological foot print approach to environmental-economic evaluation of farm results. *Agricultural systems*, 2016, vol. 145, p. 76-82.

CADENASSO, M.L., PICKETT, S.T.A., WEATHERS K.C., BELL S.S., BENNING, T.L., CARREIRO, M., DAWSON, T. An interdisciplinary and synthetic approach to ecological boundaries. *Bio Science*, 2003, vol. 53, no 8, p. 717-722.

CADOTTE, M. W., CARSCADDEN, K., y MIROTCHEV, N. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. *Journal of applied ecology*, 2011, vol. 48, no 5, p. 1079-1087. doi:10.1111/j.1365-2664.2011. 02048.x

- CARSON, T. B., HAKIMDAVAR, R., SJOBLÖM, K. J., y CULLIGAN, P. J. Viability of recycled and waste materials as green roof substrates. *Geo Congress 2012: State of the Art and Practice in Geotechnical Engineering*. 2012. p. 3644–3653. doi:10.1061/9780784412121.373
- ELTON, C. S. The Reasons for Conservation. *The Ecology of Invasions by Animals and Plants*, 1958, p.143–153. doi:10.1007/978-1-4899-7214-9_8
- CHESSON, P. Mechanisms of Maintenance of Species Diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2000, vol. 31(1), p.343-366. doi: 10.1146/annurev.ecolsys. 31.1.343
- COLDING, J. Ecological land-use complementation for building resilience in urban ecosystems. *Landscape and urban planning*, 2007, vol. 81, no 1-2, p. 46-55. doi: 10.1016/j.landurbplan.2006.10.016
- CONNELL, J. H. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 1978, vol. 199, no 4335, p. 1302-1310. doi:10.1126/science.199.4335.1302
- COOK-PATTON, S.C., BAUERLE, T.L. Potential benefits of plant diversity on vegetated roofs: a literature review. *Journal of environmental management*, 2012, vol. 106, p. 85-92. doi: 10.1016/j.jenvman.2012.04.003
- CREMASCHI, M.E., FREAZA, N., JENSEN, K., REBOREDO, J. El proyecto de paisaje como sustentabilidad urbana: caso la cuenca del Gato. *I Encuentro Nacional sobre Ciudad, Arquitectura y Construcción Sustentable (ENCACS)*, 2016, p.69-80. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/59293>
- DUNNETT N. y KINGSBURY N. Planting Green Roofs and Living Walls. TimberPress, 2008. Portland, Oregon. Vol. VII, p.328. ISBN:9780881929119 0881929115
- DUNNETT N. Ruderal Green Roofs. Green Roof Ecosystems. *Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*, 2015, p.223. Springer, Cham
- DUNSTER K., COFFMAN R. Placing Green Roofs in Time and Space: Scale, Recruitment, Establishment, and Regeneration. *Green Roof Ecosystems*. Springer, Cham, 2015. p. 357-390.
- DVORAK, B., y VOLDER, A. Green roof vegetation for North American ecoregions: a literature review. *Landscape and urban planning*, 2010, vol. 96, no 4, p. 197-213. doi: 10.1016/j.landurbplan.2010.04.009

FERNANDEZ VELA, R.J. La ciudad resiliente. Una forma inteligente de entender la ciudad. 2014.<https://www.researchgate.net/publication/314402302>

FLORES-XOLOCOTZI, R. Incorporando desarrollo sustentable y gobernanza a la gestión y planificación de áreas verdes urbanas. *Frontera norte*, 2012, vol.24, n.48, pp.165-190. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73722012000200007. ISSN 2594-0260

FRANCIS, R. A., y LORIMER, J. Urban reconciliation ecology: the potential of living roofs and walls. *Journal of environmental management*, 2011, vol. 92, no 6, p. 1429-1437.doi: 10.1016/j.jenvman.2011.01.012

FRASCARIA-LACOSTE, N., HENRY, A., GÉRARD, P. R., BERTOLINO, P., COLLIN, E., y FERNÁNDEZ-MANJARRÉS, J. Should forest restoration with natural hybrids be allowed? *Restoration Ecology*, 2011, vol. 19, no 6, p. 701-704. doi:10.1111/j.1526-100x.2011.00804.x

GARCIA, D. A. Green areas management and bio engineering techniques for improving urban ecological sustainability. *Sustainable Cities and Society*, 2017, vol. 30, p. 108-117.doi: 10.1016/j.scs.2017.01.008

GUERRA ABUD J.J. Lineamientos hacia la sustentabilidad urbana. Subsecretaria de Fomento y Normatividad ambiental. Dirección General de Fomento Ambiental Urbano y Turístico.SEMARNAT.2008. México.

GETTER, K. L., y ROWE, D. B. The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 2006, vol. 41, no 5, p. 1276-1285. doi:10.21273 /hortsci.41.5.1276

HOLT RD. Inference towards the best explanation: reflections on the issue of climate change. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 2015, vol. 61, no 1, p. 1-12.

KEAGY, J.C., SCHREIBER, S. J., CRISTOL, D. A. Replacing sources with sinks: when do populations go down the drain? *Restoration Ecology*, 2005, vol. 13, no 3, p. 529-535. doi:10.1111/j.1526-100x.2005.00066.x

LUNDHOLM, J.T. Green roof plant species diversity improves ecosystem multi functionality. *Journal of Applied Ecology*, 2015, vol. 52, no 3, p. 726-734. doi:10.1111/1365-2664.12425

MCKINNEY, M. L. Urbanization, biodiversity, and conservation. *Bioscience* 52: 883-890 McKinney ML (2006) Urbanization as a major cause of biotic

homogenization. *Biological Conservation*, 2002, vol. 127, p. 247260. doi:10.1641/0006-3568(2002)052[0883: ubac]2.0.co;2

MIRANDA ROSALES, V., JIMÉNEZ SÁNCHEZ, P.L. Sustentabilidad Urbana planteamientos teóricos y conceptuales. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*,

MIRANDA, V. Una propuesta de instalación de la industria limpia en el parque industrial Santiago Tianguistenco. 2006. *Tesis Doctoral. Tesis de Maestría*, Facultad de Arquitectura y Diseño, UAEM, Toluca.

MUHTAMAN D.R., SIREGAR, C.A. Y HOPMANS, C. Criteria and indicators for sustainable plantation forestry in Indonesia. *Center for International Forestry Research*, Bogor, Indonesia. Cifor, 2000, p.72.

NAGASE, A., y DUNNETT, N. Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: effects of watering and diversity. *Landscape and urban planning*, 2010, vol. 97, no 4, p. 318-327. doi: 10.1016/j.landurbplan.2010.07.005

NIEMELÄ, J. Biodiversity and Conservation, 1999, vol. 8(1), p.119–131. doi:10.1023/a:1008817325994

ODUM, E. P., SARMIENTO, F. Ecología. El Puente entre Ciencia y Sociedad. *Ed. McGraw Hill Interamericana*. México. 1998, p.342.

OBENDORFER, E., LUNDHOLM J., COFFMAN B., DOSHI H., DUNNETT N., GAFFIN S., KOHLER M., LIU K., Y ROWE B. Green roof as urban ecosystems: ecological structures, functions and services. *BioScience*, 2007, vol. 57, p.823-833. doi:10.1641/B571005

OLLY, L. M., BATES, A. J., SADLER, J. P., y MACKAY, R. An initial experimental assessment of the influence of substrate depth on floral assemblage for extensive green roofs. *Urban forestry & urban greening*, 2011, vol. 10, no 4, p. 311-316. (2011).

PHONDANI, P. C., BHATT, A., ELSARRAG, E., ALHARR, Y. M., y EL-KEBLAWY, A. Criteria and indicator approach of global sustainability assessment system for sustainable landscaping using native plants in Qatar. *Ecological indicators*, 2016, vol. 69, p. 381-389. doi: 10.1016/j.ecolind.2016.05.003

REID, W., MOONEY, H., CROPPER, A., CAPISTRANO, D., CARPENTER, S., CHOPRA, K. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being. Washington, DC: *Island press*, 2005, vol.5.

- ROWE, R. K., Y ABDELATTY, K. Modeling contaminant transport through composite liner with a hole in the geomembrane. *Canadian Geotechnical Journal*, 2012, vol. 49, no 7, p. 773-781.
- SIMMONS, M.T. Climates and microclimates: challenges for extensive green roof design in hot climates. *Green roof ecosystems*, 2015, p. 63-80. Springer, Cham.
- STEWART, W. LIEBERTB, D. LARKIN, K. Community identities as visions for landscape change. *Landscape and Urban Planning*, 2004, volume 69, Issues 2-3, 15. Ed. Elsevier Science Ltd.
- SUAREZ M., CACERES N., IMHOF L., HICK E., FENOGLIO M.S., IVANCOVICH G., ROMERO S., CORTADI M., WULFF E. Relevamiento de techos verdes de la ciudad de Córdoba. Primer diagnóstico 2016. *EDUCC- Editorial de la Universidad Católica de Córdoba*, 2016. 20p. ISBN 978-987-626-332-0
- SUTTON, M. A., OENEMA, O., ERISMAN, J. W., LEIP, A., VAN GRINSVEN, H., y WINIWARTER, W. Too much of a good thing. *Nature*, 2011, vol. 472, no 7342, p. 159. doi:10.1038/472159a
- SUTTON, R.K. Introduction to green roof ecosystems. *Green Roof Ecosystems*. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), vol 223 Springer, Cham, 2015. p. 1-25.
- TETREAULT, D. Una taxonomía de modelos de desarrollo sustentable. *Espiral*, 2004, vol. 10, no 29, p. 45-80.
- TILMAN D. Resource competition and community structure. *Princeton University Press*, 1982. Princeton, New Jersey. USA
- TORRES-LIMA, P.A., VALDIVIEZO, A.C. Eco urbanismo y habitabilidad regional: contribuciones de América Latina. *Universidad Autónoma Metropolitana*, 2015.
- TURNER, M.G., O'NEILL, R.V., GARDNER, R.H. y MILNE, B.T. Effects of changing spatial scale on the analysis of landscape pattern. *Landscape ecology*, 1989, vol. 3, no 3-4, p. 153-162.
- VAN MECHELEN, C., DUTOIT, T., y HERMY, M. Mediterranean open habitat vegetation offers great potential for extensive green roof design. *Landscape and Urban Planning*, 2014, vol. 121, p. 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.09.010>
- VASL, A., y HEIM, A. Preserving plant diversity on extensive green roofs—theory to practice. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 2016, vol. 62, no 1-2, p. 103-111.

VERDAGUER VIANA-CÁRDENAS, C. De la sostenibilidad a los eco barrios. Documentación Social. *Revista de estudios sociales y sociología aplicada*, 2000, no 119, p. 59-78.

WACKERNAGEL M., KITZES J., MORAN D., GOLDFINGER S. y THOMAS M. The ecological foot print of cities and regions: comparing resource availability with resource demand. *Environment and Urbanization*, 2006, vol. 18, no 1, p. 103-112.

WHITTAKER, R.H., LEVIN, S.A., ROOT, R.B. Niche, habitat, and ecotope. *The American Naturalist*, 1973, vol. 107, no 955, p. 321-338.

V.4. Capítulo 3

ANDERSSON, E. W., SPANOS, K. A., MULLIN, T. J., & LINDGREN, D. (1998). Phenotypic selection can be better than selection for breeding value. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 13(1-4), 7 11. doi: 10. 1080 /02827589809382956

ARABI, R.S., M.F. SHAHIDAN, M. KAMAL, M.F.Z. JA'AFAR, AND M. RAKHSHANDEHROO. Mitigating urban heat island through green roofs. *Current World Environment*, 2015, vol. 10, no 1, p. 918-927

ASIN, J.E.F., MARTINEZ C.F., CANTÓN M.A., y CORREA E.N. Impacto de cubiertas vegetadas en el ahorro energético del parque edilicio del área metropolitana de Mendoza (AMM). *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2015, v.9, p.05.35-05.43. ISSN: 2314-1433

BENVENUTI, S., y BACCI, D. Initial agronomic performances of Mediterranean xerophytes in simulated dry green roofs. *Urban Ecosystems*, 2010, vol. 13, p.: 349-363.doi: 10.1007/s11252-010-0124-9

BERNARDO, R., Retrospective Index Weights Used in Multiple Trait Selection in a Maize Breeding Program. *Crop Science*, 31(5), (1991). 1174. doi:10.2135/cropsci1991.0011183x003100050

BOLAÑOS SILVA, T., y MOSCOSO A. Consideraciones y selección de especies vegetales para su implementación en eco-envolventes arquitectónicos: una herramienta metodológica. *Revista Nodo 10*. 2011.<http://csifsvr.uan.edu.co/index.php/nodo/article/view/138/118>

CÁCERES, N., IMHOF L., SUÁREZ M., HICK E., y GALETTO L. Assessing native germplasm for extensive green roof systems of semiarid regions. *Ornamental Horticulture*, 2018, vol. 24, no 4, p. 466-476.doi: 10.14295/oh. v24i4.1225.

CEPEDA, R.A., VERA S., ALBORNOZ F., y STEINFORT U. Experimental study on the stomatal resistance of green roof vegetation of semiarid climates for building energy simulations. *7th International Building Physics Conference (Syracuse, NY, USA)*. 2018.

CHAMAS, C. C., MATTHES, L. A. F. Método para levantamento de espécies nativas com potencial ornamental. *Ornamental Horticulture*, 2000, vol. 6, no 1. doi: 10.14295/rbho.v6il.63
DIETZ, M. E., CLAUSEN, J.C. Saturation to improve pollutant retention in a rain garden. *Environmental science & technology*, 2006, vol. 40, no 4, p. 1335-1340. doi:10.1021/es051644f

DI RIENZO, J., CASANOVES F., BALZARINI M., GONZALEZ L., TABLADA M., y ROBLEDO Y.C. Infostat Versión. *Grupo Infostat*, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 2011.URL <http://www.infostat.com.ar>, v.8, p.195-199

DVORAK, B., VOLDER, A. Green roof vegetation for North American ecoregions: a literature review. *Landscape and urban planning*, 2010, vol. 96, no 4, p. 197-213.<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.04.009>

DUNNETT, N., KINGSBURY, N. Planting green roofs and living walls. Portland, OR: *Timber press*, 2008, Inc., Portland, Oregon. ISBN (for 2008 edition): 0881929115; 9780881929119

DURHMAN, A. K., ROWE, D. B., RUGH, C.L. Effect of substrate depth on initial growth, coverage, and survival of 25 succulent green roof plant taxa. *HortScience*, 2007, vol. 42, no 3, p. 588-595.

FARREL, C., MITCHELL R.E., SZOTA C., RAYNER J.P., Y WILLIAMS N.S.G. Green roofs for hot and dry climates: Interacting effects of plant water use, succulence and substrate. *Ecological Engineering*, 2012, vol. 49, p. 270-276.doi: 10.1016/j.ecoleng.2012.08.036

HAZEL, L.N., The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*. November 20, 1943 vol. 28 no. 6 476-490

IMHOF, L. Bases for improvement in *Glandularia* for ornamental purposes. 2013.*Doctoral Thesis on Catholic University of Córdoba* (#000182064) http://200.45.112.19/F/YCMY2FRIUPN13VB83VN78644DHFFPHTX3N7SSPDSI7JH8EG6N101946?func=ite mglobalex&doc_number=000182064&item_sequence=000010&sub_library=UCCC

IMHOF, L., SUÁREZ, M., HICK, E., CÁCERES, N., MATOFF, E., y GALETTO L. Selection of ornamental *Glandularia* hybrids potentially used as pot or bedding plants. *European Journal of Horticultural Science*, 2018a., vol. 83 (3), p.135-141. doi: 10.17660/eJHS.2018/83.3.2

IMHOF L., SUÁREZ M., CÁCERES N., MATOFF E., FACCIUTO G., HICK E., y GALETTO E. Field trial survey and breeder perceptions to select between ornamental *Glandularia* hybrids. *Plant Genetic Resources, Characterization and Utilization*, 2018b. 1-8. doi:10.1017/S1479262118000321

LIN, C.Y. Index selection for genetic improvement of quantitative characters. *Theoret. Appl. Genetics* 52, 49–56 (1978). <https://doi.org/10.1007/BF00281316>

KENDAL, D., WILLIAMS K.J., AND WILLIAMS N.S. Plant traits link people's plant preferences to the composition of their gardens. *Landscape and Urban Planning*, 2012, vol. 105, no 1-2, p. 34-42.

KOTSIRIS, G., NEKTARIOS, P.A., PARASKEVOPOULOU, A.T. Lavandula angustifolia growth and physiology is affected by substrate type and depth when grown under Mediterranean semi-intensive green roof conditions. *HortScience*, 2012, vol. 47, no 2, p. 311-317.

LEAL L., BIONDI D., Potencial ornamental de especies nativas. *Eletrônica de engenharia florestal* - ISSN 1678-3867. Publicação científica da faculdade de agronomia e engenharia florestal de garça/faef ano IV, número, 08, agosto de 2006.

MACIVOR, J. S., LUNDHOLM, J. Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate. *Ecological Engineering*, 2011, vol. 37, no 3, p. 407-417. doi: 10.1016/j.ecoleng.2010.10.004

MONTERUSSO, M.A.; ROWE, D. B., RUGH, C.L. Establishment and persistence of Sedum spp. and native taxa for green roof applications. *HortScience*, 2005, vol. 40, no 2, p. 391-396.

NEKTARIOS, P.A., AMOUNTZIAS I., KOKKINO I., Y NTOULAS N. Green roof substrate type and depth affect the growth of the native species Dianthus fruticosus under reduced irrigation regimens. *HortScience*, 2011, vol. 46, no 8, p. 1208-1216.

OBENDORFER, E., LUNDHOLM J., COFFMAN B., DOSHI H., DUNNETT N., GAFFIN S., KOHLER M., LIU K., Y ROWE B. Green roof as urban ecosystems: ecological structures, functions and services. *BioScience*, 2007, vol. 57, p.823-833. doi:10.1641/B571005

ORDÓÑEZ-LÓPEZ, E. E.; ZETINA-MOGUEL, C.; PÉREZ-CORTÉS, M. Sobrevivencia y cobertura de plantas en techos verdes durante el estiaje en Yucatán. *Ingeniería*, 2012, vol. 16, no 2, p. 93-107.

PRICE, J.G., WATTS S.A, WRIGHT A.N., PETERS R.W., Y KIRBY J.T. Irrigation lowers substrate temperature and enhances survival of plants on green roofs in the southeastern United States. *HortTechnology*, 2011, vol.21(5), p.586-592.

PROVENZANO, M.E., CARDARELLI M., SACCARDO F., COLLA G., BATTISTELLI A., y PROIETTI, S. Evaluation of perennial herbaceous species for their potential use in a green roof under mediterranean climate conditions. *II International Conference on Landscape and Urban Horticulture 881*. 2009. p. 661-668. doi:10.17660/ActaHortic.2010.881.109

RAYNER, J.P., FARRELL C., RAYNOR K.J., MURPHY S.M., y WILLIAMS S. Plant establishment on a green roof under extreme hot and dry conditions: the importance of leaf succulence in plant selection. *Urban forestry & urban greening*, 2016, vol. 15, p. 6-14.

RAZZAGHMANESH, M.; BEECHAM, S.; BRIEN, C. J. Developing resilient green roofs in a dry climate. *Science of the Total Environment*, 2014, vol. 490, p. 579-589.

RAZZAGHMANESH, M., BEECHAM S., y KAZEMIF. The growth and survival of plants in urban green roofs in a dry climate. *Science of the Total Environment*, 2014, vol. 476, p. 288-297.

SIMMONS, M. T. Climates and microclimates: challenges for extensive green roof design in hot climates. *Green roof ecosystems*. Springer, Cham, 2015. p. 63-80.

SNODGRASS, E.C., y SNODGRASS L.L. Green roof plants: a resource and planting guide. *Portland: Timber Press*, 2006, No. 04; SB419. 5, S5. ISBN: 0881927872; 9780881927870. Record number: 1934193

SUTTON, R.K. Introduction to green roof ecosystems. *Green Roof Ecosystems Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*, 2015, vol. 223, p. 1-25. Springer, Cham.

TORRES, C., GALETTO, L. Flowering phenology of co-occurring Asteraceae: a matter of climate, ecological interactions, ¿plant attributes or of evolutionary relationships among species? *Organisms Diversity & Evolution*, 2011, vol. 11, no 1, p. 9-19.

VAN MECHELEN, C., DUTOIT T., KATTGE J., y HERMY M. Plant trait analysis delivers an extensive list of potential green roof species for Mediterranean France. *Ecological Engineering*, 2014, vol. 67, p. 48-59.

VASL, A., y HEIM, A. Preserving plant diversity on extensive green roofs—theory to practice. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, 2016, vol. 62, no 1-2, p. 103-111.

VANWOERT, N.D., ROWE D.B., ANDRESEN J.A., RUGH C.L., FERNANDEZ R.T., y XIAO L. Green roof storm water retention. *Journal of environmental quality*, 2005, vol. 34, no 3, p. 1036-1044.doi:10.2134/jeq2004.0364

VAN RENTERGHEM, T., y BOTTELDOOREN D. Reducing the acoustical façade load from road traffic with green roofs. *Building and environment*, 2009, vol. 44, no 5, p. 1081-1087.doi: 10.1016/j.buildenv.2008.07.013

VERA, S., PINTO, C., VICTORERO, F., BUSTAMANTE, W., BONILLA, C., GIRONÁS, J., ROJAS, V. Influence of plant and substrate characteristics of vegetated roofs on a supermarket energy performance located in a semiarid climate. *Energy Procedia*, 2015, vol.78, p.1171-1176.

WOLF, D., LUNDHOLM J. Water up take in green roof microcosms: Effects of plant species and water availability. *Ecological Engineering*, 2008, vol. 33, no 2, p. 179-186. doi: 10.1016/j.ecoleng.2008.02.008